This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

2044 106 384 779

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

# LES

# FÉCULES

PAR

MARIE-GUSTAVE BLEICHER

DOCTEUR EN MÉDECINE, DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES
Pharmacien de 1re classe
Professeur d'histoire naturelle à l'École supérieure de pharmacie de Nancy
Ex-répétiteur d'histoire naturelle à l'École de médecine militaire de Strasbourg
Médecin-major des hôpitaux militaires (hors cadre)
Chevalier de la Légion d'honneur. — Officier d'académie
Lauréat de la Faculté de médecine de Strasbourg, 1859. — Lauréat des Sociétés savantes, 1872
Lauréat de la Société de climatologie d'Alger, 1876
Membre de plusieurs Sociétés savantes. — Membre de l'Académie de Stanislas.

PARIS
BERGER-LEVRAULT ET Cie, ÉDITEURS
5, RUE DES BEAUX-ARTS, 5

1878

Digitized by Google

MICROFILMED
AT HARVARD

Digitized by Google

# LES FÉCULES

## INTRODUCTION. — HISTORIQUE

Les substances amylacées contenues dans les végétaux portent le nom de *fécule* ou d'*amidon*, ou indifféremment les deux noms, suivant les auteurs.

Selon Payen (1) : « sous le nom générique d'amidon, on désigne « plusieurs substances offrant une composition identique, qui « diffèrent par quelques caractères physiques et portent des déno- « minations spéciales.

« Le nom de *fécule* est attribué à la substance amylacée que l'on « extrait des pommes de terre, de l'igname... ; celui d'*amidon* « s'applique au principe immédiat que contiennent les fruits des « céréales, les graines des légumineuses, des chénopodées. »

D'après Guibourt (2) : « dans le langage chimique, les mots « amidon, fécule amylacée, peuvent être considérés comme syno- « nymes; dans les usages économiques, on donne plus spéciale- « ment le nom d'amidon à la fécule des graines céréales, et celui « de fécule à celle retirée des autres parties des plantes. Il « m'arrivera souvent de me servir indifféremment de ces deux « expressions. »

On trouve plus récemment l'amidon défini par ses seules propriétés physiques et chimiques (3). « C'est un corps neutre, « incristallisable, insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, susceptible « de se transformer en dextrine, puis en glycose, par l'influence de « la chaleur, des acides étendus ou des ferments spéciaux. »

---

(1) *Chimie industrielle*, 2e édition, p. 393.

(2) *Histoire naturelle des drogues simples*, t. II, 6e édition, p. 117.

(3) Planchon. *Traité pratique de la détermination des drogues simples*, 1877, t. II, p. 100.

Digitized by Google

Le mot amidon, qui tire son origine du mot grec composé αμυλον, est plus ancien que le mot fécule, qui vient du latin *fœx, feces*. L'étymologie de *fécule* rappelle donc que ce principe immédiat se précipite du suc des végétaux, comme la lie de vin.

Ayant ici à traiter « des fécules », nous pensons que notre cadre est large, et qu'il comprend toutes les matières amylacées ou féculentes d'origine végétale.

Nous excluons ainsi : 1° la matière amylacée d'origine animale que Virchow, Rouget, Friederich, Kekulé, etc., ont indiquée soit dans l'organisme adulte sain ou malade, soit dans la série animale ; 2° la matière amylacée, trouvée par Dareste, R. Werner, etc..., dans les organes en voie de développement, de l'homme et des animaux.

L'amidon du blé paraît avoir été connu des anciens. Suivant Dioscoride (1), les Crétois et les Égyptiens en préparaient et en exportaient. Chez les Romains, on en faisait un usage journalier. Caton le Censeur (239, 149 av. J.-C.) en parle. (*De re rusticâ*, lib. XXXVII).

D'après Pline (lib. XVII, cap. 17), l'amidon aurait été découvert par les habitants de Chios, d'où venait de son temps le plus estimé. Galien en mentionne aussi l'usage. (*De alimentorum facultatibus*, lib. I, cap. 8).

Il en est aussi question dans l'ouvrage d'Otto Brunfels (*Herbarum icones ad naturæ imitationes*, etc., 1531), dans ceux de Lonicerus (*Kraüterbuch, etc.* Frankfurt, 1582) et de Mathiole, 1583.

La découverte du microscope permit à Antoine de Leeuwenhoek de découvrir la vraie nature de l'amidon. Cet illustre naturaliste, débordé par les nombreuses applications à l'histoire naturelle que le microscope venait de révéler, ne put faire que des observations superficielles. Elles furent cependant suffisantes pour lui assurer la gloire d'avoir le premier affirmé, que la matière farineuse renfermée dans le froment et l'orge, est composée de globules entourés d'une membrane.

Peu de textes latins ont été autant lus et commentés que sa fameuse lettre (2) 26e du 22 juin 1716.

---

(1) Trécul. *Des Formations vésiculaires dans les cellules végétales.* Annales des sciences naturelles, 4e série, 1858, p. 22.

(2) *Epistolæ physiologicæ super compluribus naturæ arcanis.* Delphis, 1719. — Epist. XXVI, t. IV, p. 230-232.

Digitized by Google

La plus vive polémique s'est établie à ce sujet, de 1825 à 1838, à l'occasion des études que fit Raspail (1) sur la nature intime de la fécule, son mode de développement, ses réactions chimiques. Raspail soutenait contre l'Académie des sciences, représentée par nos plus illustres chimistes et physiciens, Payen (2), Persoz, Biot (3), Caventou (4), que Leeuwenhoek avait indiqué sa découverte d'une manière vague, et insistait surtout sur la forme discoïde et aplatie que Leeuwenhoek attribuait aux grains de fécule. Mais il est évident, en lisant avec attention certains passages de cette lettre, que le grand naturaliste hollandais les avait bien vus. Il avait même entrevu le caractère microscopique le plus remarquable des grains, c'est-à-dire leur striation.

L'étude comparée qu'il fit de la fécule dans le blé, l'orge, le riz, le sarrazin, le maïs, prouve d'ailleurs qu'il avait sinon l'assurance, du moins le pressentiment de l'identité de la matière amylacée dans les plantes.

Avant Raspail, d'après les recherches de M. Trécul (5) que nous suivons ici, la nature granuleuse de la matière amylacée avait été indiquée par Luke Howard (*Transact. of the Linnean Society*, 1800, t. VI, p. 72), par Fourcroy (*Système des connaissances chimiques*, an IX), par Karl Springel (*Anleitung zur Kentniss der Gewächse*, Halle, 1802, p. 89).

Pour Link (*Grundlehren der Anat. und Physiol. der Pflanzen*, Göttingen, 1807, p. 2 et suiv), l'amidon se présente sous la forme de grains, et a de nombreuses analogies avec la gomme, le mucus, le sucre.

Ici doit se placer une revendication que Caventou (6) fit en faveur du célèbre botaniste Villars, doyen de la Faculté de médecine de Strasbourg. Villars aurait, dès 1802, puis surtout en

---

(1) Raspail. *Développement de la fécule dans les organes de la fructification des céréales. Annales des sciences naturelles*, 1825, t. VI. — *Nouvelle chimie organique*, 1838, t. I, p. 436-451.

(2) Payen et Persoz. *Journal de chimie médicale*, t. IX, p. 569, 1833. — Payen. *Journal de chimie médicale*, t. I, 2e série, p. 31.

(3) C. R. Académie des sciences, séance du 5 novembre 1832, p. 472.

(4) *Recherches chimiques sur l'amidon et les diverses substances féculantes* (sic) *du commerce. Annales de chimie et de physique*, 1826, p. 31.

(5) *Des Formations vésiculaires*, p. 223. *Annales des sciences naturelles* : Botanique, t. X, 4e série, 1858.

(6) Caventou. *Annales de chimie et de physique*, 1826, p. 368. Note à la suite de son mémoire.

Digitized by Google

1810, étudié la *farine de pomme de terre* et y aurait découvert des globules dont il fait la description dans un mémoire intitulé: *Mémoire sur la structure de la pomme de terre* (*Journal général de médecine*, t. XLII). Suivant Caventou, Villars aurait reconnu la différence d'aspect que présentent la fécule de pomme de terre et l'amidon du blé vus au microscope; de plus il aurait fait (et nous pensons qu'il a été un des premiers dans cette voie) des coupes transversales du grain de blé.

Les recherches entreprises depuis l'époque récente où la structure du grain de fécule a été démontrée au microscope, furent dirigées dans deux sens différents. D'une part, les chimistes cherchent à compléter les notions précédemment acquises sur ce principe immédiat, devenu d'une application journalière dans l'industrie. D'autre part, les botanistes, plus modestes, essayèrent d'approfondir l'origine, le développement et la texture de la matière amylacée.

Les recherches de Caventou, de Guibourt, citées plus haut, sont surtout chimiques. Il en est de même de celles de Biot, de Payen et de Persoz; le premier cependant fit faire de grands progrès à l'étude physique du grain de fécule, en démontrant qu'il est formé de couches d'inégale densité, au lieu d'être formé d'une seule membrane et d'un contenu demi-fluide.

C'est aux chimistes [1] que nous devons la précieuse notion de l'identité de l'amidon tégumentaire et du ligneux.

Les chimistes modernes ont trouvé l'étude des matières amylacées faite, et les travaux d'ensemble sur la question s'arrêtent vers 1857.

Depuis lors, leurs efforts se dirigèrent plutôt vers l'application de ce principe immédiat à l'industrie, et vers sa production par des procédés plus économiques ou plus rapides. Les chimistes ont réussi, tandis que les botanistes, en présence de la question biologique, bien plus ardue, ne sont pas encore d'accord sur la genèse des matières amylacées dans les cellules des plantes.

Les théories sur l'origine et la structure du grain d'amidon abondent. Elles ont suivi pas à pas le perfectionnement du microscope et les opinions courantes sur la constitution de la cellule végétale.

Selon Leeuwenhoek, le grain d'amidon du blé n'est qu'une

---

[1] Guerin-Warry. *Annales de chimie et de physique*, t. LVI.

Digitized by Google

simple vésicule transparente. Pour Raspail [1], le grain de fécule est un « *organe* », ou une vésicule formée de deux parties, une *enveloppe tégumentaire*, un *contenu gommeux*. Les granules d'amidon croissent, comme de vraies cellules végétales, dans l'intérieur d'autres cellules.

Les principales théories relatives à l'origine du grain de fécule, de 1834 à 1858, époque à laquelle parurent les remarquables travaux de Hartig [1], de Naegeli [2], de Trécul [3], sont celles de Fritzsche et de Payen.

Fritzsche [4] admet que le grain est composé de couches concentriques, et formé par des dépôts successifs des couches extérieures sur les intérieures. Cette structure résulte pour lui, de l'étude des grains simples comme des grains composés. Mais cet auteur avoue, comme le remarque M. Trécul, à qui nous empruntons ces détails historiques, qu'il n'a pas pu étudier « *l'acte de formation* » de ces grains.

Selon Payen, le grain d'amidon est d'abord [5] « à l'état sphé-
« roïdal, comme tout corps fluide laissé à la propre attraction de
« ses parties intégrantes; il absorbe généralement par un seul
« point, quelquefois par deux, rarement par trois, la substance
« amylacée.

« Celle-ci s'accumule dans l'intérieur, presse les premières
« parties agrégées, les gonfle, puis est pressée à son tour par une
« nouvelle quantité de matière qui bientôt encore reçoit et trans-
« met la pression d'un autre flot de la sécrétion. Ce gonflement
« successif produit les couches concentriques observées; il con-
« tinue tant que les circonstances extérieures laissent une sou-
« plesse suffisante aux premières couches qui enveloppent les
« autres....

« Lorsque le développement des grains amylacés est considé-
« rable, les premières couches formées, ayant perdu leur sou-
« plesse, ne cèdent à la pression interne des dernières parties
« sécrétées qu'en éprouvant des ruptures, et celles-ci partent

---

(1) *Chimie organique*, t. I, 1838, p. 451.

(2) *Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims*. Leipzig, 1858.

(3) *Die Stärkekœrner*, Zürich, 1858.

(4) Mémoire cité, p. 227.

(5) *Annalen der Physik und Chemie von Poggendorf*, t. LXXII, 1834, p. 131-132.

(6) *Annales des sciences naturelles*, t. X, p. 204. — *Mémoire sur l'amidon*.

Digitized by Google

« généralement du hile, où les parois amincies offrent le moins « de résistance. »

Le rôle du hile du grain serait celui du hile de la graine; il existerait dans les fécules où jusqu'alors on ne l'avait pas soupçonné. La couche superficielle du grain aurait plus de cohésion que les couches internes, sans mériter cependant le nom de tégument, et sans présenter de composition chimique sensiblement différente de celles-ci.

Meyen [1] (*Pflanzen-Physiologie,* 1837) est de l'avis de Fritzsche, comme Schleiden (*Grundzüge,* Leipzig, 1845, p. 176) et Treviranus (*Physiologie der Gewächse,* Bonn, 1838).

Sprengel (Mémoire de M. Quekett dans le *Pharmaceutical Journal of London,* 1843-1844, t. III) prétend avoir suivi le développement des grains d'amidon. Il le compare au développement des spores des mousses (formation par division et formation endogène). Ce même auteur établit une certaine assimilation entre le développement de l'amidon et celui de la chlorophylle, assimilation dont les botanistes modernes ont reconnu la justesse.

Bischoff (*Formes remarquables des grains d'amidon dans la racine de la salsepareille et dans celle de l'*Hedychium gardnerianum Wall. *Bot. Zeit.*, 1844, 31 mai) sort des voies frayées, et étudie l'amidon dans quelques plantes où elle n'existe qu'en quantité trop minime pour être extraite industriellement. Les grains de fécule qu'il a étudiés, se composent de couches concentriques marquées de stries très-fines. Les recherches de M. Julius Munter (*Ueber das Amylum der* Gloriosa superba. *Bot. Zeit.*, mars 1845) portent sur le mode de groupement des grains d'amidon, sur leur texture et leur origine. Il déduit très-logiquement, dit M. Trécul [2] : « 1° Que les groupes ne peuvent être nés de la juxtaposition de « deux grains primitivement séparés; 2° que la superposition des « couches ne peut arriver du dehors sur chacun de ces granules « réunis, puisque les couches sont plus épaisses précisément du « côté des surfaces en contact. » Les couches centrales entourant le noyau sont les plus jeunes, les plus molles, les plus aqueuses. Les opinions de Payen se trouvent donc ainsi confirmées.

Karl Müller (*Quelques Remarques sur la formation de l'amidon,* dans *Bot. Zeit.,* 12 décembre 1845), sous l'influence des idées de

---

[1] Mémoire cité de M. Trécul, partie historique, p. 221 et suiv.
[2] Mémoire cité, p. 228.

Digitized by Google

Schleiden et de Hugo Mohl, admet que l'utricule primordial (cytoblaste) se transforme directement en amidon, mais seulement dans les cellules déjà âgées.

Le premier travail de M. Naegeli sur l'amidon, en collaboration avec Schleiden (*Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik*, 1845), indique l'amidon comme étant le résultat d'une formation secondaire. Il se produirait, non dans les utricules [1], mais dans de petites cellules de mucilage particulières, qui ne se « colorent pas « par l'iode, tandis que les granules contenus dans leur intérieur « bleuissent. Ces cellules sont résorbées quand les granules d'a- « midon sont parfaitement formés ; ceux-ci restent alors séparés « s'ils l'étaient dans l'utricule, ou agrégés en groupes de trois ou « plus s'ils étaient pressés les uns contre les autres. »

Cette opinion a une certaine importance, puisque déjà on y voit poindre la théorie de la formation de la fécule aux dépens de la partie azotée de la cellule, celle qui *se colore par l'iode* et qui correspond évidemment au protoplasma. Unger (*Grundzüge der Anat. und Physiologie*, 1846, p. 31), Reissek (*Haidinger's Berichte über die Mitheilungen der naturwiss.... in Wien*, 1846), n'ajoutent que peu de chose aux notions déjà acquises. Ce dernier, cependant, considère la fécule comme une cellule inachevée.

Pour M. Quekett (*On the Developpment of Starch and chlorophyll, Annals natural history*, 1re série, 1846, t. XVIII), la fécule est un produit du cytoblaste ; elle naît dans l'intérieur de celui-ci, suivant deux modes différents. Dans un cas, il y a formation de nucléus précédant l'apparition des grains de fécule, dans un autre cas, elle apparaît sans qu'il y ait trace de noyau. Dans son deuxième mémoire (*Zeitschrift für wissenschaftliche Bot.*, Zürich, 1847), M. Naegeli admet qu'au centre du grain de fécule il existe une cavité remplie de liquide ; pour lui l'embryogénie de celui-ci est tout entière à faire.

Lindley (*Introd. to Botany London*, 1848, t. I, p. 125) paraît se ranger à l'opinion exprimée dans le premier mémoire de Naegeli. Dans le travail de M. Busk (*Some observations on the structure of Transact. of the microscopical soc.*, 2e série, vol. Ier, p. 58 et suiv.), la matière amylacée est indiquée dans les algues (*Hydrodyction utriculatum*). Il émet l'opinion que l'amidon, dans ce cas, est déposé autour d'un noyau azoté. Schacht (*Lehrbuch der Anat. und*

---

[1] Mémoire cité, p. 229.

Digitized by Google

*Physiol. der Gewächse*, p. 58; — *Die Pflanzenzelle*, Berlin, 1852) s'inscrit contre l'opinion de Payen et de Naegeli sans donner à l'appui des preuves convaincantes ; de 1854 à 1858, nous trouvons cités dans l'historique si clair et si précis de M. Trécul [1], les travaux de MM. Crüger, Allman, Henfrey et Hartig. Pour M. Crüger, l'amidon se produit, au moins en partie, aux dépens du protoplasma vert ou coloré. Les couches superficielles sont les plus récentes. Le grain d'amidon, avant d'être libre, est longtemps retenu par la chlorophylle ou le protoplasma ; il est couvert par une couche, extrêmement mince, d'une substance non colorable en bleu par l'iode, « *substance de transition* ». Les grains composés résultent de la soudure de plusieurs grains simples, à l'aide de la substance de transition. (*Bot. Zeitung*, 20 janvier 1854. *Contributions pour la connaissance de l'amidon*.)

Les conclusions de M. Allman (*Remarks of the Involution of the Starck granule, etc.*, in *Quarterly Journal of microscopical*, vol. II, 1854) sont les suivantes : Le grain d'amidon, composé de lamelles emboîtées, se forme par voie d'accroissement centripète. C'est une vraie cellule végétale, ayant dans son intérieur une cavité remplie d'amidon amorphe. M. Henfrey (*Micrographic dictionary by Griffith and Henfrey*, London, 1856) se rallie à l'opinion, déjà émise, d'un noyau couvert de couches de moins en moins denses.

C'est sur la face interne des vacuoles du protoplasma que se déposerait le granule d'amidon.

Avec les travaux de M. Hartig, et surtout après ceux de M. Naegeli et de M. Trécul, la question de l'origine et du développement des grains de fécule entre dans la phase expérimentale. Les remarquables résultats obtenus par ces auteurs et par ceux qui les ont suivis, Gris [2], Sachs [3], Mer [4], doivent prendre place dans le corps même de l'étude des fécules.

Cet aperçu historique de la question que nous venons de tracer d'après M. Trécul, démontre que les opinions sur l'origine et le développement de la matière amylacée ont suivi les fluctuations

---

(1) Mémoire cité, p. 233 et suiv.

(2) *Du Développement de la fécule et en particulier de sa résorption. Annales des sciences naturelles*, 4e série, t. XIII.

(3) *Ueber die Auflæsung und Wiederbildung. Bot. Zeit.*, 1864. — *Traité de botanique*. Trad. van Tieghem, 1874.

(4) *Bulletin de la Société botanique de France*, XX, 13-27 juin 1873.

Digitized by Google

des théories régnantes sur la cellule. Une étude complète des fécules telles que les comprend la science moderne, peut se subdiviser ainsi :

1° Définition des fécules.
  a) *Par leur constitution chimique.*
  b) *Par leur organisation.*
2° Étude de la fécule dans la plante.
  A. Morphologie.
    a) *Emplacement dans la cellule.*
    b) *Mode de développement. Relations avec le protoplasma et la chlorophylle.*
  B. Physiologie.
Rôle de la fécule comme matière de réserve.
Résorption des grains.
3° Applications générales et spéciales, médicales, pharmaceutiques, alimentaires et industrielles.

## I. — Définition des fécules.

La composition élémentaire et la formule de l'amidon ont été établies par les travaux de Payen (1). Ses premières recherches lui firent supposer qu'il existait une différence à ce point de vue, entre les parties extérieures du grain et les parties intérieures, mais il leur trouva la même composition qu'il traduisit par la formule $C^{12}H^{10}$ (équivalents). Il en conclut que toute la substance de l'amidon constituait un seul et même *principe immédiat.*

Ce résultat fit oublier l'*amidin*, l'*amidone*, et autres principes immédiats, à l'aide desquels on faisait des grains d'amidon un corps complexe.

C'est encore à Payen que l'on doit d'avoir démontré que les fécules de pomme de terre, de panais, de fèves, de Maranta (arrowroot) ont la même composition élémentaire que l'amidon (2). Toutes les recherches qui ont suivi, n'ont fait que confirmer le

(1) *Mémoire sur l'amidon.... Annales des sciences naturelles*, t. X, 2e série, 1838, p. 179.
(2) *Id.*, p. 185.

Digitized by Google

principe de l'identité chimique des matières amylacées, et la formule atomique que nous trouvons en tête de l'article « Amidon » du Dictionnaire de chimie pure et appliquée [1] est $C^6H^{10}O^5$, qui correspond à la formule indiquée plus haut.

Cette identité, parfaitement démontrée au point de vue de l'analyse élémentaire, qui fournit toujours les mêmes rapports quelle que soit l'origine de la matière amylacée, ne paraît plus aussi entière, quand il s'agit de traduire ces rapports en une formule rationnelle. On éprouve, en effet, une certaine appréhension à adopter la formule la plus simple, parce qu'il n'a pas été possible, jusqu'à présent, de fixer avec certitude le poids moléculaire de tels principes immédiats organisés, et que d'autre part on en voit sortir, dans certains cas, plusieurs produits isomères, mais jouissant de propriétés différentes. Or, puisque la même influence semble avoir présidé à ces diverses formations, comme nous le verrons plus loin, il faut bien admettre avec M. Berthelot que $n\,C^{12}H^{10}O^{10}$, ou avec M. Jacquemin que $n\,C^{12}H^{20}O^{10}$ représentent les différentes fécules ou matières amylacées, mais avouer en même temps que la valeur de $n$ reste encore à déterminer.

Résumons les propriétés qui leur ont été reconnues par les chimistes, et les transformations qu'elles subissent entre leurs mains. Toutefois, nous devons dire auparavant qu'on entend en chimie par matière amylacée, tout principe extrait d'un organisme végétal, qui est insoluble dans l'eau froide, mais qui se gonfle dans l'eau chaude et forme un empois, que l'iode colore en bleu ou en violet plus ou moins foncé, suivant l'espèce de plante dont elle a été retirée, ou suivant son âge.

La matière amylacée pure est blanche, inodore, insipide; elle fait entendre dans certains cas sous les doigts (amidon) un bruit de craquement particulier. Séchée à l'air, à 20°, elle retient des quantités d'eau d'hydratation dont le poids, variable selon l'état hydrométrique, va de 18 à 35,5 p. 100; dans le vide sec à 20°, elle conserve encore 9,2 p. 100; il faut le vide sec entre 100 et 140° pour la déshydrater d'une manière absolue, mais revenue à la température ordinaire et exposée à l'air, elle absorbe de nouveau des quantités très-notables d'eau.

Inaltérable dans un air sec, elle s'altère peu à l'air humide dont

---

[1] Würtz-Diet, 1877, p. 193. *Amidon.*

Digitized by Google

l'ozone l'oxyde avec une extrême lenteur, et lui fait perdre de l'acide carbonique (1).

Elle est insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther.

Lorsque l'on fait agir la chaleur sur une partie de fécule délayée dans 15 parties d'eau, on constate un phénomène d'hydratation qui se traduit par un gonflement considérable, et quelquefois par la rupture des grains, dès que la température atteint 57°. L'empois, car tel est le nom par lequel on désigne cet état, continue à s'épaissir, surtout de 72° à 100°. L'examen microscopique fait apercevoir des grains fondus, dont les couches intérieures en s'hydratant, ont amené cette augmentation de 25 à 30 fois le volume primitif.

L'ébullition d'une partie d'amidon avec 100 parties d'eau amène une division de la matière telle, que le liquide amylacé passe à travers le filtre. Il semble qu'il y ait eu dissolution de la substance, puisque le liquide filtré se colore en bleu par l'eau iodée, mais la solubilité n'est qu'apparente, car lorsqu'on y fait végéter des bulles de jacinthe, l'amidon n'est pas absorbé, et vient se pelotonner à l'extrémité des radicelles sous forme de granules d'une extrême ténuité.

M. Jacquelain, en opérant dans une marmite de Papin, à 150°, a désagrégé la fécule et obtenu, par refroidissement, des granules qui ne mesurent que deux millièmes de millimètre. Il a constaté que toutes les matières amylacées, placées dans les mêmes conditions, se désagrégeaient.

Si l'on dépassait ces limites de température, si l'on chauffait à 170° de l'amidon et de l'eau dans un tube de verre scellé à la lampe, on produirait une substance isomère, la dextrine, soluble dans l'eau et colorable en rouge par l'iode.

Une dissolution d'hydrate de potasse au quart transforme immédiatement à fond la fécule en empois consistant. Chose singulière, cet effet ne se produit pas d'une manière sensible avec l'amidon ; il se produit plus ou moins bien avec les autres matières amylacées, de telle sorte que les chimistes se servent de ce réactif pour les caractériser et pour conclure que si l'identité au point de vue de l'analyse élémentaire n'est pas douteuse, il n'en saurait être ainsi, d'une manière absolue, au point de vue de

(1) Karsten. *Répertoire de chimie pure*, 1859, t. I, p. 237.

Digitized by Google

certaines propriétés ; pour eux, les matières amylacées sont des corps isomères ou polymères.

On peut suivre le gonflement causé par ce réactif sous le champ du microscope, et constater, par exemple, la présence de la fécule dans un amidon commercial.

La potasse plus étendue, à 5 p. 100, lorsqu'on la laisse au contact d'une matière amylacée, pendant 12 heures, à la température de 50° à 60°, finit par la fluidifier et par la convertir en dextrine.

Nous avons placé l'action des dissolutions alcalines à la suite de l'exposé des effets de l'eau, en raison de cette production d'empois dans des circonstances données et de dextrine dans d'autres. Nous pouvons reprendre les effets de l'eau, dans un cas spécial, qui conduira sans transition à ceux de la chaleur appliquée directement.

Lorsque l'on triture de la fécule dans un mortier à parois rugueuses, on déchire la matière en produisant cette division, et cependant la substance examinée ensuite au microscope, ne présente nulle apparence du liquide gommeux qui devait en résulter, suivant les idées qu'avaient conçues Leeuwenhoek et plus tard Raspail, sur la constitution du grain de fécule. Toutefois il y a eu modification, car l'eau dissout une partie du produit et acquiert ainsi la propriété de se colorer en bleu par l'iode, d'être précipitée par la baryte, par le sous-acétate de plomb, de réduire la liqueur de Fromhertz. Ce composé soluble, que l'on obtient aussi en broyant l'amidon avec du sable quartzeux et un peu d'eau, étendant ensuite d'une plus grande quantité d'eau, laissant déposer et filtrant, a reçu différents noms : fécule soluble (Guibourt), gomme (Raspail), amidin (Saussure), amidon modifié (Caventou), amidin soluble (Guérin-Varry), matière amylogène (Delffs).

M. Jacquemin croit que le résultat obtenu est uniquement dû à l'action de la chaleur développée par le frottement, et en conséquence l'expression de *fécule soluble* donnée par Guibourt lui semble plus convenable que les autres.

En effet, la chaleur appliquée directement sur les matières amylacées amène déjà à 100° un commencement de transformation en amidon ou fécule soluble, puis en dextrine, deux isomères, dont l'un succède à l'autre. La dextrine achève de se former vers 200°, en prenant une légère teinte ambrée qui s'accentue davantage en atteignant 205°. Quand on pousse la température de 220° à 230°, la masse se gonfle, entre en fusion pâteuse et se convertit presque complétement en pyrodextrine.

Digitized by Google

La production de la dextrine offre d'autant plus d'intérêt qu'elle est devenue industrielle. Ce corps, si bien étudié par Payen, Biot et Persoz, a la même composition que la fécule, et se représente par les mêmes rapports $C^6H^{10}O^5$. C'est donc une transformation isomérique qui s'est effectuée.

Suivant M. Jacquemin, dans son cours de chimie organique de Strasbourg et de Nancy, on conçoit l'allotropie de la fécule ordinaire et de la fécule soluble; mais la dextrine, tout en fournissant les mêmes rapports à l'analyse, doit posséder un autre arrangement moléculaire, une autre composition atomique par suite d'une double décomposition intramoléculaire. Nous n'exposerons pas ici cette théorie en détail, nous devons nous contenter de dire que ce chimiste considère la matière amylacée comme un anhydride de deux radicaux, ou un éther mixte de glucosyle monoatomique [1] et de dextrinyle, et lui donne la formule générale

$$n\left(\left.\begin{matrix}C^6H^{11}O^5\\C^6H^9O^4\end{matrix}\right\}O\right)=n\,C^{12}H^{20}O^{10}.$$

Or, l'action de la chaleur portant, suivant lui, sur le glucosyle, qui fournit les éléments de l'eau, il en résulte $2\left(\left.\begin{matrix}C^6H^9O^4\\H\end{matrix}\right\}O\right)$, c'est-à-dire deux molécules de dextrine.

Examinons maintenant la manière d'agir des réactifs chimiques.

Lorsqu'on arrose de la fécule avec une dissolution aqueuse d'iode, les granules prennent aussitôt une couleur bleu clair. Si, au contraire, on ajoute de l'empois avec la teinture d'iode, le tout prend une belle couleur bleu foncé.

Cette réaction permet de reconnaître la matière amylacée partout où elle existe. Dans certains cas, cependant, il est indispensable de s'aider, au préalable, de l'action de l'acide sulfurique (coupes microscopiques). L'iode employé ainsi est un réactif précieux pour déceler ces substances, de même que l'amidon (papier amidonné) peut servir à en rendre sensibles des traces. L'emploi du papier ozonoscopique est fondé sur cette coloration de l'iode, mis en liberté par la réaction de l'ozone de l'air sur l'iodure de

---

[1] La glucose, qui en dérive, est sans doute un alcool aldéhyde polyatomique, mais qui dans bien des cas fonctionne comme molécule monoatomique.



Digitized by Google

potassium. L'iodure d'amidon, composé moléculaire particulier de l'iode et de l'amidon, subit l'action de la lumière, se décolore sous son influence, en produisant de l'acide iodique et iodhydrique. La chaleur fait également disparaître sa belle couleur bleue qui reparaît par le refroidissement.

L'action des réactifs iodés sur le grain de fécule est mieux connue actuellement.

En le traitant par la salive à une température de 35° à 40° pendant quelques jours, la substance intérieure du grain, *granulose* de certains auteurs, disparaît, laissant une charpente de matière amylacée, dont les propriétés se rapprochent de celles de la cellulose. En effet, elle ne bleuit pas par la teinture d'iode seule, mais par la teinture d'iode aidée de l'action de l'acide sulfurique, et bleuit immédiatement par l'action du chlorure de zinc iodé.

L'action des acides peut se généraliser, puisque tous, sauf l'acide acétique, convertissent les matières amylacées en dextrine et en maltose. Le résultat de l'hydratation s'exprime ainsi :

$$\overset{\text{Fécule.}}{\left.\begin{matrix}C^6H^{11}O^5\\C^6H^9O^4\end{matrix}\right\}O}+\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O=\overset{\text{Dextrine.}}{\left.\begin{matrix}C^6H^9O^4\\4\end{matrix}\right\}O}+\overset{\text{Glucose.}}{\left.\begin{matrix}C^6H^{11}O^5\\H\end{matrix}\right\}O}.$$

A l'emploi de tel ou tel acide se rattachent des particularités qui intéressent plus le chimiste que le naturaliste. Ainsi, l'acide azotique fumant forme de la xyloïdine ou fécules mono et diazotiques; l'acide azotique ordinaire employé dans la proportion d'un ou deux millièmes, avec une quantité d'eau suffisante pour humecter l'amidon, produit de la dextrine incolore par simple dessiccation à l'étuve.

L'acide sulfurique concentré, sans parler d'un acide sulfo-amidonique, a donné à Béchamp sa fécule soluble, dont Maschke (1) a obtenu une variété, et Musculus (2) une autre. L'acide sulfurique étendu d'eau est employé industriellement pour la fabrication des sirops et sucres de fécule. Dilué dans une certaine quantité d'eau, il dégage à l'ébullition avec la fécule une odeur vireuse, que l'on ne sent nullement avec l'amidon, et qui permet aux chimistes de reconnaître la présence de la fécule ayant servi à

(1) Maschke. *J. pr. Chemie,* t. LVI, p. 409 et t. LXI, p. 1.
(2) Musculus. *Annales de chimie et de physique,* t. II, 5e série, p. 385, 1874.

Digitized by Google

frauder un amidon commercial, et de conclure encore que la fécule est accompagnée d'un principe particulier, que l'on n'est pas parvenu à isoler, et qui n'existe pas dans l'amidon.

On aurait d'ailleurs tort de croire que les matières amylacées sont absolument formées de 6 atomes de carbone, 10 d'hydrogène et 5 d'oxygène. Tout le monde sait que, les chauffant à l'ébullition avec une dissolution concentrée de potasse, il se dégage de l'ammoniaque, ce qui prouve que cette matière organisée, la fécule, contient de l'azote. Jacquelain l'a dosé et admet 2 p. 100 de matière albuminoïde répandue à la surface extérieure du grain de fécule. Blondlot, au contraire, prétendait qu'elle était finement distribuée autour de ces nombreux granules de deux millièmes de millimètre de diamètre, dont sont formées les couches concentriques qui, par leur superposition, constituent la fécule ou l'amidon.

Jacquemin

Blondlot partait de cette hypothèse pour expliquer ses observations chimiques et micrographiques sur la digestion des matières amylacées : « Le suc gastrique, disait-il, agit sur cette matière azotée comme il agit sur la chair musculaire, il la dissout et dissocie la fécule ou l'amidon en les amenant dans un état d'extrême division. »

Au reste, Schultze a montré plus tard qu'une dissolution saturée de chlorure de sodium, additionnée de 1 p. 100 d'acide chlorhydrique désagrége et dissout en partie l'amidon. Ce sont des faits qui peuvent se rapprocher.

L'action remarquable de la diastase, ce ferment organique découvert par Payen et Persoz, se confond en partie avec celle des acides étendus. L'un et l'autre phénomène ont été étudiés depuis par Dubrunfaut, Béchamp, Musculus, Naegeli, Philipp, Schwarzer, Schultze, Bondonneau, O'Sullivan, Musculus et Gruber, etc.

Musculus, en 1860, admettait que la saccharification de la fécule ou de l'amidon, sous l'influence de ces agents, acide dilué ou diastase, doit être considérée comme un phénomène de dédoublement, c'est-à-dire que l'amidon ne se transforme pas d'abord en dextrine par changement isomérique, puis en sucre par hydratation, comme on l'admettait alors, mais que la dextrine et le sucre se produisent simultanément, qu'il y a hydratation suivie de dédoublement en dextrine et sucre. Cette idée théorique, repoussée par tous les chimistes dont nous venons de citer les noms, a été adoptée par M. Jacquemin, qui lui a donné une forme, et qui,

Digitized by Google

sans attendre que Musculus rectifiât son équation de 1860, expliquait à son cours la saccharification par l'acide sulfurique de la manière suivante :

$$\overset{\text{Amidon.}}{\left.\begin{matrix} C^6H^{11}O^5 \\ C^6H^9O^4 \end{matrix}\right\} O + \left.\begin{matrix} SO^2 \\ H \\ H \end{matrix}\right\} O^2 = \overset{\text{Glucose.}}{\left.\begin{matrix} C^6H^{11}O^5 \\ H \end{matrix}\right\} O + \left.\begin{matrix} SO^2 \\ C^6H^9O^4 \\ H \end{matrix}\right\} O^2,}$$

acide sulfodextrinique ou amidonique,

mais $$\left.\begin{matrix} SO^2 \\ C^6H^9O^4 \\ H \end{matrix}\right\} O^2 + \left.\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\right\} O = \overset{\text{Dextrine.}}{\left.\begin{matrix} C^6H^9O^4 \\ H \end{matrix}\right\} O} + \left.\begin{matrix} SO^2 \\ H^2 \end{matrix}\right\} O^2,$$

acide sulfurique régénéré, qui continue à dédoubler successivement ainsi toutes les molécules amylacées.

Enfin, on a découvert des variétés de dextrine, issues de la matière amylacée, dont voici les principales : l'érythrodextrine, qui se colore en rouge par l'iode; les dextrines $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, de Bondonneau; les achroodextrines $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, de Musculus et Gruber, qui, d'après ces derniers, proviennent de dédoublements successifs de la molécule amylacée $nC^{12}H^{10}O^{10}$, de M. Berthelot.

M. Jacquemin a montré qu'en faisant $n = 4$ dans sa formule de l'amidon, $\left.\begin{matrix} 4C^6H^{11}O^5 \\ 4C^6H^9O^4 \end{matrix}\right\} O^4$ devient successivement par double décomposition, provoquée par la diastase, soit avec une, deux ou trois molécules d'eau :

$$C^6H^{12}O^6 + C^{42}H^{70}O^{35}$$
$$2C^6H^{12}O^6 + C^{30}H^{60}O^{30}$$
$$3C^6H^{12}O^6 + C^{30}H^{50}O^{25}.$$

Ces variétés de dextrines, nées au début de l'action de la diastase, pourront continuer à en subir l'influence, c'est-à-dire se saccharifier jusqu'à formation d'une dextrine inaltérable par la diastase à la température ordinaire (achroodextrine $\gamma$, de M. et G.).

Le rapport de la dextrine

$$C^{30}H^{50}O^{25} = \left.\begin{matrix} C^6H^{11}O^5 \\ H^3 \\ 4C^6H^9O^4 \end{matrix}\right\} O^4,$$

Digitized by Google

à son isomère, provenant d'un groupement amylacé dont n = 3,

qui par $H^2O$ donne $C^6H^{12}O^6 + \left.\begin{matrix} 2C^6H^{11}O^5 \\ H \\ 3C^6H^9O^4 \end{matrix}\right\} O^3$.

Ce même groupement par $2H^2O = 2C^6H^{12}O^6 + C^{24}H^{40}O^{20}$.

Il est évident qu'un groupement dans lequel N = 2 fournira avec $H^2O = C^6H^{12}O^6 + C^{18}H^{30}O^{15}$.

La théorie de M. Jacquemin conduit à six variétés de dextrine qui, par épuisement des effets de la diastase, aboutissent à une dextrine $n\left(\left.\begin{matrix} C^6H^9O^4 \\ H \end{matrix}\right\} O\right)$ non saccharifiable par le ferment, même au bout d'un an, d'après les expériences de Gruber et Musculus, et que l'acide sulfurique dilué et bouillant ne saccharifie qu'après plusieurs heures d'ébullition soutenue.

Nous serions incomplets, si nous ne parlions du dédoublement des matières amylacées en maltose d'après M. Dubrunfaut, qui lui assigne la formule $C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O$. Cette maltose précéderait la formation de la glucose, et se transformerait en deux molécules de glucose, par simple hydratation. D'après M. Jacquemin, la maltose serait un anhydride du glucosyle $\left.\begin{matrix} C^6H^{11}O^5 \\ C^6H^{11}O^5 \end{matrix}\right\} O$, tandis que le sucre de canne, son isomère, est l'anhydride des radicaux de la glucose et de la lévulose.

Voici l'équation qu'il donne pour expliquer cette formation :

$$\left.\begin{matrix} 4C^6H^{11}O^5 \\ 4C^6H^9O^4 \end{matrix}\right\} O^4 + 2H^2O = 2\overset{\text{Maltose.}}{\left(\left.\begin{matrix} C^6H^{11}O^5 \\ C^6H^{11}O^5 \end{matrix}\right\} O\right)} + \left.\begin{matrix} 4C^6H^9O^4 \\ H^4 \end{matrix}\right\} O^4, \text{ mais}$$

$$\left.\begin{matrix} 4C^6H^9O^4 \\ H^4 \end{matrix}\right\} O^4 + H^2O = \overset{\text{Maltose.}}{\left.\begin{matrix} C^6H^5O^5 \\ C^6H^5O^5 \end{matrix}\right\} O} + \overset{\text{Dextrine.}}{\left.\begin{matrix} 2C^6H^9O^4 \\ H^2 \end{matrix}\right\} O^2},$$

soit trois molécules maltose pour une molécule dextrine.

L'amidon du blé a une densité d'environ 1,5, d'après Flückiger [1]; celui du maranta, desséché à l'air, a une densité de 1,504; desséché complétement à 17°, 1,565.

Les fécules ne sont pas amorphes, elles ont une organisation particulière, qui permet le plus souvent de les reconnaître sous le

---

[1] *Pharmacognosie*. p. 711.

Digitized by Google

microscope, sans l'aide d'aucun réactif chimique. On a souvent parlé de la présence dans les cellules d'*amidon amorphe.*

Schleiden, dès 1838, admettait que la matière amylacée se rencontrait à l'état d'enduit ou d'empois, dans les cellules de l'embryon des *Schotia latifolia, speciosa, Hymenea Courbaril, Mucuna ureus* et *Tamarindus indica.* Hartig, en 1858 (1), cite le même naturaliste comme ayant observé cette fécule amorphe dans les graines du *Cardamomum minus* (*Alpinia Cardamomum*), et dans l'écorce de la racine de la salsepareille de la Jamaïque.

Selon Meyen (*Jahresbericht,* p. 67) (2), l'amidon n'existe pas dans les lichens à l'état globuleux, mais y forme les membranes et le contenu des cellules.

La difficulté de résoudre une pareille question provient de la propriété qu'ont à la fois l'amidon et la cellulose jeune, de bleuir sous l'influence de l'iode.

M. Trécul admet cependant (3) que, chez certains végétaux, il existe, à la face interne de la cellule, une couche homogène d'amidon gélatineux.

Pour Sachs (4), ce principe immédiat se présente toujours sous forme organisée, en grains solides et à contours nettement accusés. Ce sont du reste ces propriétés physiques qui ont permis à Leeuwenhoek de découvrir la matière amylacée, au milieu des préparations grossières qu'il faisait pour étudier au microscope les différentes farines.

Les formes, les dimensions, les détails de la surface extérieure des grains de fécule, doivent être successivement étudiés avant de pénétrer dans leur intérieur à l'aide de réactifs et des propriétés optiques.

Leeuwenhoek avait reconnu sa forme vésiculaire dans le blé. Il le voyait fortement aplati; Turpin (5) décrit et figure la *globuline* de la pomme de terre comme formée de vésicules, marquées sous certain jour, d'une aréole qui indique le point par lequel elles tenaient à la paroi de la cellule. Citons encore les excellentes figures de Payen, qui se trouvent reproduites dans la plupart des ouvrages traitant de la matière.

---

(1) *Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims.* Leipzig, 1858, p. 81.
(2) Cité dans le mémoire de M. Trécul, p. 207.
(3) Mémoire cité, p. 350.
(4) *Traité de botanique,* 1874, p. 78.
(5) *Organographie végétale. Mémoires du Muséum,* t. XIX, p. 66, 1827.

Digitized by Google

Selon Sachs, le granule de matière amylacée paraît toujours sphérique quand il est jeune; l'accroissement lui fait prendre différentes formes.

Ces formes apparaissent surtout nettement lorsque les grains de fécule se trouvent isolés et libres de se mouvoir dans un liquide qui ne réagit pas sur eux.

Dans ces conditions, c'est-à-dire avec de l'eau, l'amidon du blé présente des aspects variés. Au lieu de granulations sphériques, on aperçoit des disques aplatis dont les faces sont ou courbes, ou plus rarement planes.

Dans le cas où le grain est posé sur une de ses faces, il paraîtra circulaire; sur un de ses bords, il paraîtra ovoïde (1).

Les granules simples du latex des euphorbiacées ont des formes spéciales (voir planche I) de bâtonnets remplis aux deux extrémités (2); on rencontre plus rarement celles de fuseaux.

Quant aux formes des grains composés, elles sont trop variées pour qu'il soit possible d'en donner une idée générale.

On les trouvera indiquées, avec les caractères essentiels des granules de différentes provenances dans le tableau suivant que nous empruntons à M. le professeur Robin (3).

A. *Grains amorphes.* — (Graines de cardamome, écorces de salsepareille de la Jamaïque, etc., etc.)

B. *Grains simples.* — (La plupart des plantes.)

I. Grains arrondis ou polyédriques à angles mousses.

a) Grains sans hile apparent:

Tels que les plus petits granules de la plupart des fécules, riz, etc....

b) Avec hile:

1° Couches concentriques autour du hile;

Grains ovoïdes (pomme de terre);

Grains conchoïdes (liliacées);

2° Couches concentriques peu évidentes ou nulles;

Grains arrondis ou polyédriques (maïs, apios);

c) Grain avec hile, fissure étoilée;

Avec ou sans couches concentriques (légumineuses);

Grains en gobelet, cyathiformes (rhizomes d'iris);

---

(1) Moitessier. *Emploi de la lumière polarisée dans l'examen microscopique des farines. Annales d'hygiène,* 1868, p. 385.

(2) Hartig. *Entwickelungs....*, p. 83, *fig.* 34, pl. III.

(3) *Traité du microscope.....* 1878. Paris, p. 842.

Digitized by Google

II. Grains lenticulaires :

Hile creux, déchiré, central ou excentrique, petit et arrondi, ou allongé ou étoilé, avec ou sans couches concentriques (blé, seigle, etc.).

III. Grains en disques aplatis :

Avec ou sans couches apparentes (arrowroot, amomacées, marantacées, etc.).

IV. Grains en bâtonnets :

Avec hile allongé (dans le suc de plusieurs euphorbiacées).

V. Grains irréguliers (*id.*).

C. *Grains composés ou cohérents.*

a) Grains centraux de l'agglomération dépourvus de centre de réfraction ou hile :

1° Réunis au nombre de deux à quatre, d'après un type simple (marantacées) ;

2° Réunis au nombre de cinq à six, types réguliers ou irréguliers (salsepareilles diverses).

b) Grains centraux de l'agglomération montrant un hile évident :

1° Tous les granules de l'agglomération, presque de même grosseur, réunis par deux ou quatre ;

Hile petit, arrondi (manioc) ;

Hile gros, étoilé (arums) ;

2° Un gros grain réuni à beaucoup de petits (sagou).

Le volume des grains d'amidon varie suivant les espèces végétales, suivant l'âge ou le degré de développement, et suivant l'organe dans lequel on les étudie.

Dans le périsperme [1] de l'*Hordeum hexastichon L.*, les gros grains ont $0^{m},025$, et les petits ne dépassent pas $0^{m},005$.

En mesurant le grand diamètre de 50 à 60 grains de fécule de tapioca, Wiesner [2] a remarqué que les grains les plus volumineux atteignaient $0^{m}/_{m},2$, tandis que les moins volumineux arrivaient à $0^{m}/_{m},007$.

Les grains de fécule que l'on trouve dans la partie farineuse du fruit ont été regardés pendant longtemps comme supérieurs en taille aux grains de la partie cornée [3], mais il paraît que l'inverse se présente souvent.

---

[1] Trécul. Mémoire cité, p. 333.

[2] *Die Rohstoffe der Pflanzenreichs,* 1873, p. 252.

[3] Hock. *Microscopische Untersuchungen.* p. 79, cité par Wiesner, p. 268.

Digitized by Google

On donne en général une idée des dimensions des diverses espèces d'amidons ou de fécules à l'aide de la longueur moyenne du grand axe, comme on peut en juger par le tableau suivant (Payen *N. Ann. sc. nat. bot.*, t. X, p. 65) :

| | |
|---|---|
| Tubercules de grosses pommes de terre | 0 m/m,175 à 0 m/m,185 |
| Racine de colombo (*Menisp. palmatum*) | 0 ,180 |
| Rhizomes volumineux de *Canna gigantea* | 0 ,175 |
| — de *Canna discolor* | 0 ,150 |
| — de *Caranta arundinosa* (arroroot du commerce) | 0 ,140 |
| Plusieurs variétés de pommes de terre | 0 ,140 |
| Bulles de lis | 0 ,115 |
| Tubercules d'*Oxalis crenata* | 0 ,100 |
| Tige d'un très-gros *Echinocactus erinaceus* importé | 0 ,075 |
| Sagou importé | 0 ,070 |
| Graines de grosses fèves | 0 ,075 |
| — de lentilles | 0 ,067 |
| — de haricots | 0 ,063 |
| — de gros pois | 0 ,050 |
| Fruit du blé blanc | 0 ,050 |
| Sagou non altéré (fécule de la moelle fraîche du sagouier) | 0 ,045 |
| Grandes écailles de bulbe de jacinthe | 0 ,045 |
| Tubercules de patates | 0 ,045 |
| Tubercules d'*Orchis latifolia* et *bifolia* | 0 ,045 |
| Fruit de gros maïs (blanc, jaune, violet) | 0 ,030 |
| Fruit de sorgho rouge | 0 ,030 |
| Tiges volumineuses de *Cactus peruvianus* | 0 ,030 |
| Graines de *Naïas major* | 0 ,030 |
| Tige de *Cactus pereskia grandiflora* | 0 ,0225 |
| Graine d'*Aponogeton distachium* | 0 ,0225 |
| Tige de *Gincko biloba* (*Salisb. adiantifolia*) | 0 ,022 |
| Tige de *Cactus brœsiliensis* | 0 ,020 |
| Fruit du *Panicum italicum* | 0 ,016 |
| Graines de *Naïas major* à demi dével | 0 ,016 |
| Pollen du *Globba natans* | 0 ,015 |
| Tige d'*Echinocactus erinaceus* de serre | 0 ,012 |
| Pollen de *Rupia maritima* | 0 ,011 |
| Type d'*Opuntia tuna* et *Ficus indica* | 0 ,010 |
| Tige d'*Opuntia curassavica* | 0 ,010 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Fruit du gros millet (*Panicum miliaceum*) . . . . | 0m/m,010 |
| Tige de cactus (*Mamillaria discolor*) . . . . . | 0 ,008 |
| Écorce d'*Ailantus glandulosa* . . . . . | 0 ,008 |
| Tige de *Cactus serpentinus* . . . . . | 0 ,0075 |
| Racine de panais . . . . . | 0 ,0075 |
| Pollen de *Naïas major* . . . . . | 0 ,0075 |
| Tige de *Cactus monstruosus*. . . . . | 0 ,006 |
| Graine de betterave. . . . . | 0 ,004 |
| Graine de *Chenopodium quinoa*. . . . . | 0 ,002 |

M. Trécul (1) a ajouté au tableau précédent les diamètres d'un grand nombre de grains de fécule. De plus, il donne, pour un certain nombre de plantes, les proportions relatives du grain composé de grains simples dont il est formé.

Les grains composés de l'*Aira flexuosa* atteignent 0m/m,025 sur 0m/m,015, et les grains partiels 0m/m,005.

Dans d'autres graminées, du genre *Phalaris,* les grains composés ont de 0m/m,005 à 0m/m,003, et les grains partiels environ 0m/m,0025.

Ces caractères des grains d'amidon pourraient donner, suivant le même auteur, de bonnes indications pour la distinction des différentes espèces de graminées.

En mesurant (2) sur différents grains la distance du hile aux deux extrémités du grand axe du grain, on est parvenu à établir que cette distance, qui mesure l'excentricité de celui-ci, est caractéristique pour chaque espèce de fécule. Cette excentricité a été exprimée par des fractions dont le dénominateur et le numérateur représentent chacun une de ces distances.

La fraction $\frac{1}{1,5}$ représente l'excentricité du granule d'arrowroot de Natal; $\frac{1}{70}$ celle du *Canna lagunensis* Lindley (déterminé par Naegeli).

On peut se demander s'il existe des formes caractéristiques des fécules provenant des mêmes familles végétales.

Le tableau de M. le professeur Robin (voir plus haut), en rapprochant dans une même accolade des plantes appartenant à des familles de monocotylédones et de dicotylédones (apios, maïs),

(1) Mémoire cité, p. 337.
(2) Wiesner. *Die Rohstoffe der Pflanzenreichs.* Leipzig, 1873, p. 254.

Digitized by Google

démontre que les affinités botaniques ne sont pas poussées dans les plantes jusqu'aux productions amylacées des cellules.

Cependant (1) « il y a une extrême analogie entre la fécule tirée « de l'*Oxalis crenata* et celle de l'*Oxalis deppei;* entre la fécule « du *Colchicum autumnale* et celle du *Colchicum Illyricum.*

« J'ai fait voir tous les rapports qui se trouvent entre les fécules « du *Piper nigrum* et du *Piper caudatum,* l'identité presque ab- « solue qui se montre dans les fécules des *Achyranthes,* de l'*Ama-* « *ranthus* et de l'*Euxolus,* qui appartiennent également à la « famille des amarantacées. Les fécules réunies des diverses zin- « gibéracées ont aussi beaucoup de ressemblance entre elles. »

Les stries qui apparaissent sur la surface extérieure de certains grains de fécule, ont été déjà aperçues par Leeuwenhoek.

Leur importance paraît avoir échappé à Raspail, préoccupé de sa théorie sur la composition chimique du grain. Pour lui, les stries étaient des accidents inexpliqués du tégument. L'étude microscopique approfondie qu'en firent Payen, puis Biot, les réactions nombreuses auxquelles le premier soumit le grain de fécule, permirent d'avoir des notions plus exactes sur la valeur de ces stries. L'expérience suivante a surtout paru propre à Payen pour expliquer la vraie signification de ces stries. Les grains de fécule, soumis à une température suffisante pour les désagréger, 200 à 215°, éclatent sous l'influence de l'eau et laissent voir leur structure intérieure feuilletée. L'eau iodée rend ce phénomène plus sensible (2).

Depuis les observations de Payen, les granules des matières amylacées ont été soumises à l'action d'un certain nombre d'autres réactifs : chlorure de chaux, oxyde de cuivre ammoniacal, etc., qui permirent de pénétrer plus avant dans la connaissance de leur structure si compliquée.

L'étude de ces couches concentriques et des théories nombreuses auxquelles elles ont donné lieu, trouvera sa place plus loin, dans le chapitre consacré au mode de développement du grain de fécule. Leur apparence extérieure varie suivant les grossissements et l'éclairage du microscope ; on peut dire, en général, que les stries qui les révélent à l'extérieur, sont bien moins accusées que

---

(1) Léon Soubeiran. *Étude micrographique de quelques fécules.* Thèse de pharmacie, 1853, p. 55.

(2) Payen. *Précis de chimie,* pl. XI, *fig.* 13 et 14.

Digitized by Google

ne le représentent la plupart des figures des ouvrages classiques. Elles sont en relation directe avec le hile qu'elles entourent, soit complétement par des ellipses et des circonférences, soit incomplétement par des anses.

On a donné, sous l'influence d'idées théoriques, le nom de *hile* du grain de fécule, à l'aréole claire, autour de laquelle sont disposées les stries, concentriques ou non; dans certaines espèces, il est facile à observer et manque complétement dans les autres.

Lorsqu'il n'est pas visible, on peut, dans certains cas, le faire apparaître en privant le grain, à l'aide de l'alcool absolu, d'une certaine quantité de son eau d'hydratation. Il peut y en avoir plusieurs sur un même grain de fécule de pommes de terre. Le hile se rencontre sur les grains simples ou composés (sagou).

Dans la fécule des légumineuses, le hile affecte la forme d'une fente placée dans l'axe du grain et sur laquelle viennent tomber des fissures transversales.

Les grains des diverses fécules sont plus ou moins transparents, et se présentent sous le microscope avec un contour net.

L'indice de réfraction [1] du grain de fécule de Canna est de 1,507; dans le baume de copahu, le grain devient complétement invisible. L'indice de réfraction de toutes les fécules n'est pas le même. La fécule de pommes de terre disparaît complétement dans le baume de la Mecque et non dans le baume de copahu. Dans les liquides réfringents, les contours du grain sont bordés d'un cercle d'autant plus large [2] que le pouvoir réfringent de celui-ci est moins grand.

M. Moitessier conseille de se servir, pour l'examen des matières amylacées employées dans l'industrie, de glycérine étendue d'eau, et pense qu'il ne faut pas dépasser, à moins de cas particuliers, un grossissement de plus de 200 diamètres.

Il est évident que, dans le cas des granules amylacées des organes verts, il est indispensable de se servir de grossissements plus considérables.

Sous l'influence de la lumière polarisée, les prismes de Nicol adaptés au microscope étant croisés, chaque grain paraît brillant, mais coupé de deux bandes noires ou sombres qui se croisent sur le hile.

---

[1] Wiesner. *Die Rohstoffe des Pflanzenreichs,* 1873, p. 249.
[2] Moitessier. *Annales d'hygiène,* 1868, p. 385.

Digitized by Google

Les explications données jusqu'ici, sur ce phénomène de la production de la *croix noire,* ne paraissent pas satisfaisantes.

Ces propriétés optiques du grain des fécules, étudiées d'abord par M. Rivot [1], ont été appliquées avec succès par M. Moitessier à l'examen microscopique des farines.

D'après ses recherches, l'amidon du blé, qui, sous le microscope, a des contours ovalaires ou circulaires, présente, la lumière étant éteinte par le croisement des nicols, les phénomènes suivants : 1° *contour ovalaire,* deux lignes courbes très-noires se croisant au hile, se touchant par leur convexité, en laissant entre leurs branches quatre points brillants très-lumineux; 2° *contour circulaire,* croix noire à peine marquée, contours extrêmement obscurs. Ces apparences différentes du grain d'amidon du blé tiennent, suivant M. Moitessier, à la forme même du grain. Plus celui-ci est allongé et aplati, plus les phénomènes de polarisation auront d'intensité. En éclairant légèrement le champ, on constate pour l'amidon du blé, des croix obscures, qu'il est facile de faire disparaître en faisant rouler les grains dans la préparation, tandis que les croix de la fécule des légumineuses persistent très-foncées, quelle que soit la position des grains. Enfin, l'interposition de la lame sensible de gypse fait naître des colorations sur les fécules des légumineuses, des pommes de terre, tandis qu'elle n'en produit pas pourcelle du blé.

Telles sont les principales propriétés chimiques et physiques des fécules, qui permettent d'en reconnaître partout la présence. Une définition, pour être complète, devrait comprendre l'ensemble des caractères que nous venons de parcourir.

Dans l'impossibilité où nous nous trouvons de les y faire entrer tous, force nous est d'en choisir les plus importants. Ce sont : pour les caractères chimiques, la *composition élémentaire,* la *transformation en dextrine et glycose* sous diverses influences, la *coloration en bleu par l'iode*[2]; pour les caractères physiques, la *forme de grains ou granules,* la *présence de couches alternatives plus ou moins denses dans ces grains,* l'*apparition de la croix noire sous l'influence de la lumière polarisée.*

---

[1] Moitessier. *Annales d'hygiène,* 1868, p. 384.

[2] La coloration des matières amylacées par l'iode ne peut pas être considérée comme une vraie combinaison chimique de l'iode avec l'amidon ou les fécules, mais comme une teinture due à l'état physique même de l'amidon. D'autres substances, oxyde de lanthane, ont cette même propriété à l'état gélatineux.

Digitized by Google

## II. — Étude de la fécule dans la plante.

Cette étude doit être faite, au point de vue *morphologique* ou *anatomique*, et au point de vue *physiologique*.

Les matières amylacées sont réparties dans les différents organes des plantes, et dans les différentes familles du règne végétal.

On en a constaté l'existence chez les champignons (amylobactéries).

On ne sait encore sous quel état se trouve l'amidon dans ces organismes inférieurs, mais il est évidemment en relation directe avec leur protoplasma intérieur. Dans les algues conjuguées (Desmidiées), l'amidon se présente à l'état de granules répartis également des deux côtés de l'axe du frustule et jouant, comme on le verra plus loin, un rôle important dans la multiplication par division et dans la conjugaison.

Les algues plus élevées de la série des conjuguées, en possèdent aussi dans leurs cellules végétatives, et dans les corps reproducteurs.

Quant aux cryptogames supérieurs, leurs cellules à chlorophylle, leurs axes aériens et souterrains en contiennent en abondance. Rappelons que c'est chez les mousses que Naegeli fit la découverte du fait capital, de la production des grains d'amidon aux dépens des grains chlorophylliens.

Les végétaux phanérogames contiennent des matières amylacées dans tous leurs organes.

L'axe aérien en contient rarement dans le système cortical, plus souvent dans le tissu fondamental intérieur du tronc ou stipe (Palmiers et Cycadées). Les feuilles sont souvent riches en amidon, surtout pendant leur période active de végétation.

Les axes souterrains, rhizomes, bulbes, tubercules, paraissent être les réservoirs naturels des matières amylacées, et c'est en effet de l'épaisseur de leurs parenchymes, qu'on retire souvent l'amidon pour les besoins de l'industrie. Les graines des phanérogames,

Digitized by Google

périspermées ou apérispermées, contiennent presque toujours de l'amidon. Le latex en renferme aussi dans la famille des Euphorbiacées.

Certaines familles de plantes paraissent avoir le monopole des matières amylacées de réserve. Ce sont surtout les Graminées, les Cannées, les Palmiers, les Cycadées, les Légumineuses, etc.

Les fruits des Graminées (1), et les graines des Légumineuses en contiennent de très-fortes proportions. Desséché à 100°, le blé en contient 53-57 p. 100, le seigle 44-48, l'avoine 37-40, l'orge 38-43, le sarrazin 44-45, le maïs 66-67, le riz 86-87, les fèves 38, les pois 39, les lentilles 40, les pommes de terre 16-24.

La matière amylacée se trouve dans les cellules des plantes. Les bâtonnets d'amidon du latex des Euphorbiacées (voir la planche I) ne font pas exception à cette règle, car les laticifères dans ces plantes, peuvent être regardés comme des canaux utriculeux. Les matières amylacées sont abondamment répandues dans les cellules du tissu fondamental des plantes, qui forme (2) « toute la masse « du tissu d'une plante ou d'un organe, et qui, après la formation « et l'achèvement du tissu tégumentaire et des faisceaux fibro- « vasculaires, subsiste entre eux ». Cependant elles existent aussi dans les vaisseaux du liber, c'est-à-dire dans la partie la plus extérieure des faisseaux fibro-vasculaires. D'après Sachs (3) [note], « M. Briosi a montré la présence de l'amidon en grains extrême- « ment fins dans les vaisseaux grillagés du liber. Sur 146 plantes « étudiées à ce point de vue, 129 ont présenté de l'amidon dans « leurs tubes criblés, et cela dans tous les organes et à toute « époque du développement ». C'est surtout dans la forme parenchymateuse du tissu fondamental que se rencontrent les cellules contenant les granules de fécule.

Les premiers observateurs, étudiant les tissus arrivés à maturité du grain de blé, des graines de légumineuses, etc., ont remarqué que les cellules étaient complétement remplies de granules pressés les uns contre les autres, et c'est sous cet état qu'ils les ont d'abord figurés.

Dans toutes les plantes d'où l'on extrait la matière féculente, les

---

(1) *Die Pflanzenstoffe in chemischer und physiologischer...*, p. 576, 1871. Aug. et Théod. Husemann. Berlin, 1871.

(2) Sachs. *Traité de botanique*. Trad. van Tieghem, p. 187.

(3) *Id.*, p. 832.

Digitized by Google

cellules sont ainsi gorgées de grains. Pour arriver à extraire ceux-ci, il faut donc se débarrasser de la paroi de la cellule. Les diverses opérations connues sous les noms de râpage, tamisage, mouture, etc., n'ont pas d'autre but.

Les grains plus ou moins nombreux dans une même cellule, sont souvent déformés, par leur pression réciproque et se réunissent en une masse moulée sur la face intérieure de la cellule. Dans d'autres cas [1], les grains de fécule, quoique comprimés, conservent des contours arrondis. Un même grain de fécule de maïs peut présenter toutes ces formes, et même la forme composée en passant de l'état embryonnaire à l'état adulte. La plupart des figures des ouvrages classiques représentent les grains de fécule des diverses plantes alimentaires dans ces conditions. L'étude de l'origine et de l'évolution du grain, permet de le concevoir sous la forme de granules, occupant à l'intérieur de la cellule diverses positions, et n'en formant pas le contenu principal.

La recherche de la matière amylacée dans les algues, se fait à l'aide de la teinture d'iode, les grains dans ces végétaux inférieurs n'ayant pas de hile ni de stries. Il en est de même dans les parties vertes des plantes phanérogames, où l'amidon se forme aux dépens de la chlorophylle. Ici, les grains sont aussi fort petits et sans hile ni stries.

Dans les organes des plantes, où il se trouve accumulé sous la forme de réserve, on peut souvent l'étudier directement à l'aide de ses caractères distinctifs, hile, stries. Lorsqu'il ne possède pas ceux-ci, c'est encore à l'aide de l'iode qu'on parvient à le déceler. Lorsque les grains sont isolés (fécules, amidons), on peut les étudier soit à sec, soit dans l'eau, soit dans la glycérine, soit à l'aide des divers réactifs dont nous avons parlé dans la partie chimique de cette étude. Il est enfin possible, en traitant les granules amylacées comme on traite le pollen, c'est-à-dire à l'aide d'un liquide solidifiable (gomme), déposé couche par couche, dans lequel les grains d'amidon se trouvent incorporés, d'obtenir des coupes très-intéressantes.

Pour bien comprendre cette partie de notre sujet, il est indispensable de rappeler ici la composition de la cellule végétale, et

---

[1] Payen. *Sur l'Amidon. Annales des sciences naturelles,* 3e série, 1838, p. 207.

Digitized by Google

de résumer les caractères du granule de fécule qui s'y trouve inclus. (Pl. I, fig. 1 et 2.)

A l'extérieur de la cellule végétale, on trouve une membrane solide et élastique disposée en espace clos de toutes parts. C'est la *membrane cellulaire,* ou *paroi cellulaire,* formée de *cellulose.*

Une deuxième couche se trouve appliquée contre la première, mais elle est de nature azotée, c'est le *protoplasma* de Hugo Mohl.

Le protoplasma forme d'abord une masse qui remplit toute la cellule, puis il se creuse de vacuoles, qui peuvent confluer au point de le réduire à la forme d'un sac, ou à la forme de traînées ou de lames, allant d'une paroi de la cellule à l'autre.

Un corps arrondi, enveloppé dans le protoplasma, d'une structure et d'une composition analogues, forme le *noyau* de la cellule. Il n'existe pas chez tous les végétaux inférieurs, mais toujours chez les végétaux supérieurs. La cavité ou les cavités intérieures du protoplasma résultant du creusement des vacuoles, se remplissent d'un liquide aqueux, que l'on a appelé *liquide cellulaire.*

Les dispositions, les rapports de proportion de chacune de ces parties de la cellule changent pendant son évolution.

On peut dire que le protoplasma, qui est la partie essentiellement vivante de la cellule, préside à toutes les formations intracellulaires, et que le rôle du noyau est moins important, puisqu'il manque dans beaucoup de plantes.

Ce qui importe surtout ici, ce sont les modifications survenues dans le protoplasma et dans le noyau, que l'on regarde généralement comme les producteurs de l'amidon.

Le noyau lui-même se modifie de telle façon, que, dans son intérieur, apparaissent souvent des *nucléoles* et de petites *vacuoles.*

Arrivé à cet état, il cesse de se développer. Ces vacuoles ont, de même que celles du protoplasma, une grande importance dans certaines théories, au point de vue de la génèse des matières amylacées.

Jusqu'ici, nous avons supposé le protoplasma incolore, mais il ne tarde pas, dès que la cellule a atteint un certain développement, à se charger dans les parties vertes des plantes d'une matière colorante, la *chlorophylle.*

Elle se présente sous diverses apparences et peut souvent être isolée en masse sous le nom de *corps chlorophyllien.* Ces corps chorophylliens, de forme variable, produisent dans toutes les plantes des grains d'amidon. Ils sont remarquables par leurs



Digitized by Google

formes étoilées, dans certaines algues conjuguées (Zygnema). Chez d'autres, ces corps chlorophylliens sont étalés en bandes ou condensés en granules.

Quelle que soit leur forme, ils président à la naissance de l'amidon dans les parties vertes des plantes, et il est indispensable de distinguer ce mode particulier de formation par les *corps chlorophylliens* de celui qui a été connu d'abord, *formation de l'amidon à l'aide du protoplasma incolore.*

Nous verrons plus loin, que si toutes les plantes vertes produisent des granules d'amidon, à l'aide de leur chlorophylle, ces granules sont destinés à disparaître rapidement, pour se reconstituer dans une autre partie du végétal, sous la forme de réserve.

Les théories relatives au développement du grain d'amidon, ont suivi pas à pas l'évolution des idées sur la constitution de la cellule.

Suivant les époques, de 1825 à 1878, ils ont été regardés *comme des dépôts organisés formés aux dépens du contenu de la cellule,* ou comme *des cellules naissant dans d'autres cellules.*

C'est à la première opinion que paraît se rallier Payen, lorsqu'il admet que ce principe immédiat, d'abord à l'état sphéroïdal, comme tout corps fluide laissé à la propre attraction de ses parties intégrantes, s'accroît peu à peu et couche par couche.

C'est dans un fluide (1) qu'il conçoit « rempli de flocons d'albu-
« mine, que se forme et s'accroît l'amidon des fèves, haricots et
« pois. L'inégale résistance et la viscosité du milieu déterminent
« ces surfaces ondulées ou creusées en sillons, et ces contours
« sinueux des projections qui caractérisent les grains amylacés de
« ces légumineuses ; d'autres particularités remarquables dans les
« formes des fécules nécessitent le concours d'une autre cause
« que nous allons exposer ».

Quant à son accroissement, il se produit par un orifice en forme d'entonnoir, le hile, par lequel la matière nutritive intérieure de la cellule est versée directement dans le globule d'amidon. Ce noyau interne du grain est solide et se recouvre de couches concentriques. Celles-ci (2) « ne diffèrent entre elles que

---

(1) Payen. *Sur l'Amidon. Annales des sciences naturelles,* 2e série, t. X, 1838, p. 205.

(2) Payen. *Chimie industrielle,* 1851, p. 394.

Digitized by Google

« par une cohésion augmentant du centre à la circonférence, et, « pour chacune d'elles, de la paroi interne à la paroi externe ».

A l'hypothèse de la genèse du grain de fécule par un dépôt de couches concentriques, Naegeli (*die Starckekörner*, Zurich, 1858) substitue la théorie de l'accroissement par intussusception.

Il dit, en effet [1] : « Quand la dissolution (liquide cellulaire) « présente les conditions favorables à la formation de l'amidon « solide, les atomes se réunissent, se placent à côté les uns des « autres et forment une molécule ou un groupe de molécules qui « s'entoure d'une *enveloppe d'eau* et d'une atmosphère de disso- « lution plus dense; dans cette dissolution se forment de nouvelles « molécules qui se disposent autour de la première. Ce dépôt est « favorisé par les courants qui ont lieu dans toutes les directions « dans le liquide, et qui favorisent la réunion des atomes. Il résulte « de ce dépôt successif de molécules, un corps poreux qui est « pénétré par la solution; celle-ci, introduite par des courants du « liquide qui augmentent peu à peu avec la dimension des grains, « apporte de la substance amylacée et de l'eau pour l'accroisse- « ment des particules existantes et la formation de nouvelles mo- « lécules... A cette époque, c'est-à-dire quand il s'établit dans « l'intérieur des grains des courants suivant le rayon, les courants « qui existaient au commencement dans le liquide dans toutes les « directions et qui favorisaient le dépôt des molécules autour des « premières déposées, cessent peu à peu à mesure que le courant « radial devient plus prononcé. Les mouvements des atomes au- « tour du grain prennent donc de plus en plus une direction per- « pendiculaire à sa surface; et quand ces atomes se réunissent à « l'extérieur du grain en molécules, ces dernières sont apportées « dans l'intérieur par les courants avec les atomes en dissolution.»

Le grain d'amidon, pour M. Naegeli, naît et croît comme un cristal dans une dissolution saturée, mais comme un cristal d'une nature particulière, se laissant pénétrer (intussusception) par le liquide dans lequel il se trouve.

Cette introduction du liquide nourricier dans le grain se fait par endosmose, et de telle manière que toutes les couches ne sont pas également nourries. Les couches centrales, moins bien nourries, restent demi-fluides et se séparent des couches superficielles, sous forme de noyau globuleux et mou.

---

[1] *Die Starkekœrner*, p. 366 et suiv., mémoire cité de Trécul, p. 241.

Digitized by Google

Ce noyau, en grossissant, se partage en deux couches concentriques : une intérieure, moins dense, qui est le *nouveau noyau ;* une extérieure, qui se subdivise elle-même en deux *feuillets*, un *interne* recouvrant le nouveau noyau, un *externe* doublant la face interne de l'écorce ou couche superficielle du grain.

Cette exfoliation du noyau peut se répéter une ou plusieurs fois. Lorsque le grain de fécule est arrivé à ce degré de développement, ces couches exfoliées, comme les enveloppes des cellules des plantes, s'épaisissent et se dédoublent. De leur division, résultent ordinairement *deux couches plus denses* et une *couche plus molle* entre elles.

Le grain est donc alors composé d'un noyau peu dense, de couches exfoliées produites, d'abord par dédoublement, que l'on pourrait appeler *primaire,* des couches les plus superficielles du noyau, puis, par dédoublement *secondaire* de chacune des couches formées par le dédoublement primaire. Quant à la structure même de chacune de ces couches ou strates, elle peut, d'après cet auteur, être comprise de la manière suivante :

Le grain d'amidon est constitué, de même que la membrane de la cellule, par des molécules solides de substance amylacée entourées chacune d'une atmosphère liquide. Suivant que l'épaisseur de cette atmosphère est plus ou moins grande, relativement aux dimensions de la molécule, l'assise constituée par cet ensemble varie dans ses propriétés ; elle devient plus dense, plus solide et plus réfringente quand la couche d'eau s'amincit, ou au contraire moins dense, plus fluide et plus transparente si la proportion d'eau s'élève. Les strates, alternativement sombres et claires du grain d'amidon, diffèrent les unes des autres par la proportion d'eau qu'elles contiennent, la couche la plus externe étant toujours la plus dense des couches sombres, tandis que le noyau ou hile est la plus aqueuse des couches claires. Il y a donc des alternatives d'hydratation d'une strate à la suivante, et en même temps une croissance générale de l'hydratation de la périphérie au noyau.

C'est surtout sur l'action qu'exerce, sur le grain d'amidon, une immersion prolongée dans l'alcool absolu, que M. Naegeli s'appuie pour établir ses vues. Si, en effet, on examine de la fécule de pommes de terre après un séjour d'un ou deux mois dans l'accol absolu, on reconnaît que les grains ont perdu leur apparence stratifiée, phénomène qui s'explique en admettant que toutes les couches

Digitized by Google

ont été déshydratées et, par suite, ramenées à une composition commune. On remarque en outre que les grains ainsi traités présentent souvent des fissures rayonnantes, qui vont du noyau, où elles sont larges, jusqu'à la périphérie, où elles s'atténuent insensiblement. Ces fissures s'expliquent par l'hydratation des couches centrales du grain frais. En perdant son eau d'hydratation, chaque couche subit un retrait proportionnel à la perte qu'elle éprouve; si donc le centre du grain est plus riche en eau que la circonférence, il devra se contracter davantage, et ne pourra plus remplir l'espace limité par les couches denses de la périphérie; il faudra donc qu'un vide se forme, qu'une déchirure se produise, d'autant plus large qu'on la considère plus près du centre.

Enfin, pour compléter la démonstration par une voie en quelque sorte inverse, Naegeli fait observer que les strates devront aussi disparaître, si l'on trouve moyen de saturer d'eau également toutes les parties du grain d'amidon. L'action de la potasse nous offre le moyen de réaliser cette expérience, et, effectivement, quand on la fait agir en solution étendue, on voit les grains perdre leur stratification au fur et à mesure qu'ils se gonflent et se réduisent en empois.

Les considérations qui précèdent sont certainement fort ingénieuses, mais peut-être non inattaquables. La conclusion de Naegeli contient indubitablement une part de vérité; elle est peut-être trop exclusive, en réduisant à une simple variation d'hydratation les différences qui nous permettent de distinguer deux sortes de couches dans le grain de fécule.

On sait en effet quelle singulière action la glycérine concentrée exerce sur le grain d'amidon; placé dans ce milieu, le grain frais perd au bout de quelques heures les stries qu'il possédait d'abord; l'action est jusqu'ici la même qu'avec l'alcool absolu et peut s'expliquer de la même façon, la glycérine n'étant pas moins avide d'eau que l'alcool. Mais si l'expérience se prolonge dans les mêmes conditions, au bout de quelques jours, on voit les stries du grain d'amidon reparaître aussi nettes, aussi tranchées qu'à l'état frais. On ne saurait admettre évidemment qu'il ait repris l'eau qu'il avait perdue tout d'abord; on est donc forcé de conclure que, même complétement déshydraté, le grain d'amidon peut manifester sa structure complexe. Il est même permis de se demander si c'est bien à l'enlèvement de l'eau qu'est

Digitized by Google

due la disparition définitive avec l'alcool, temporaire avec la glycérine, des stries observées à l'état frais.

Une seconde critique, toute d'interprétation celle-ci, que l'on peut adresser à Naegeli, est relative à la production et à la forme des fissures produites par l'immersion dans l'alcool absolu. Il semble évident que si ces solutions de continuité sont dues au retrait que produit la dessiccation, elles devront être plus accentuées au niveau d'une couche claire quelconque, que dans les points qui correspondent aux couches sombres en contact avec cette couche claire. Par suite, les fonds de la fissure devraient être ondulés; les couches sombres faisant légèrement saillie sur l'alignement des couches. C'est ce que l'on n'observe pas et par conséquent, ici encore, l'explication est insuffisante.

Au reste, une autre expérience également classique démontre de la façon la plus palpable, qu'il existe dans les couches sombres une substance qui manque dans les couches claires. En traitant de la fécule de pommes de terre par la salive, l'acide chlorhydrique très-dilué, à une température convenable, ou mieux encore par une solution d'hypochlorite de chaux à froid, on dissout partiellement le grain. Sa forme extérieure et ses dimensions restent inaltérées, mais sa transparence est devenue beaucoup plus grande et les stries s'y sont accusées bien davantage. On peut d'ailleurs constater dans le liquide la présence d'une substance précipitable sous forme de flocons bleus par la teinture d'iode, c'est la *granulose*. Le squelette resté non dissous ne se colore plus en bleu par l'iode; il prend une teinte vineuse faible et, ainsi coloré, montre à la place où existaient les stries claires du grain, des espaces tout à fait vides. On donne le nom de *cellulose amylique* à cette substance insoluble dans les hypochlorites, colorable en rouge par l'iode. Qu'elle soit par sa constitution élémentaire et ses réactions très-voisine de la granulose, on ne peut en douter, mais elle en diffère par un caractère au moins, et doit être considérée comme une espèce distincte. Nous admettrons donc que le grain d'amidon est composé, pour la majeure partie de sa masse, de granulose unie sur certains points à de la cellulose amylique.

Il résulte de cet exposé que nous venons de faire de la théorie de M. Naegeli, que celui-ci, tout en admettant que l'amidon se développe comme un cristal dans une dissolution, idée dont nous trouvons les premières traces dans Payen, fait intervenir le noyau comme corps vivant, comme élément de la cellule dans la forma-

Digitized by Google

tion des couches successives dont il se couvre. C'est au noyau qu'est dévolue la fonction capitale de la production des premières couches concentriques, qui sont le point de départ des couches concentriques définitives.

M. Trécul a signalé plusieurs points faibles dans cette théorie qui est admise par la plupart des physiologistes allemands.

Selon lui [1], « il est bien clair que M. Naegeli admet que les « molécules amylacées naissent dans le liquide et non toujours « dans le grain. S'il en était ainsi, on devrait les découvrir par « l'iode ; on ne les y découvre pas, c'est apparemment qu'elles n'y « sont pas. Sa seconde hypothèse n'est pas plus fondée en ce qui « concerne le commencement du grain d'amidon, parce que ce « n'est pas par des molécules amylacées que commence le grain « d'amidon : il débute par une substance qui ne bleuit pas par « l'iode. »

La nature et le rôle du noyau du grain d'amidon paraissent peu prouvés à ce même auteur. Il cite des grains dans lesquels ces prétendus noyaux ne sont en réalité que des cavités. M. Naegeli a aussi étudié la genèse des *grains partiels*, des *grains demi-composés*, des *grains composés*.

Les grains partiels résultent de la division du noyau qui peut se répéter un grand nombre de fois. Ce serait à l'intérieur de la couche moléculaire la plus interne de celui-ci que se produiraient deux centres d'attraction moléculaire au lieu d'un. Chacun de ces centres d'attraction devient le point de départ d'un nouveau grain, et joue dans la formation de ce nouveau grain le même rôle que le noyau primitif. Il en résulte que ce dernier, au lieu de produire une seule couche moléculaire concentrique, en produit deux qui entourent les deux centres d'attraction en s'intersectant probablement au point de contact. Deux nouveaux centres d'attraction peuvent se produire entre les deux centres primitifs, et cette division peut être répétée jusqu'à la production de 40 à 50 grains partiels.

Dans certains cas, ces grains partiels, au lieu de naître des deux côtés de l'axe du noyau primitif, apparaissent au milieu des couches extérieures déjà formées de celui-ci. Un épaississement se produit en un point quelconque, et au milieu de cet épaississe-

---

[1] Mémoire cité, p. 242, note.

Digitized by Google

ment se précipite un corps demi-globuleux, d'où se détache plus tard un noyau.

M. Naegeli ne s'est pas seulement occupé de la genèse du grain d'amidon dans les plantes supérieures ; il l'a aussi étudiée dans les plantes inférieures. C'est dans les cellules des *Nitella*, des *Bryopsis*, qu'il découvrit des grains de chlorophylle contenant des granules d'amidon. Ces granules d'amidon, lors de la division en deux des grains de chlorophylle, se répartissent également entre les deux grains nouvellement produits. Depuis, cette corrélation entre la chlorophylle et les granules d'amidon a été aussi reconnue dans un certain nombre de plantes phanérogames [1].

Selon M. Trécul, que nous suivons ici, les conditions anatomiques du développement du grain d'amidon n'ont pas été nettement indiquées par M. Naegeli. Il doit être considéré comme une vésicule ayant beaucoup d'analogie avec la cellule végétale.

Avant de développer les raisons que ce savant auteur indique dans son mémoire à l'appui de cette opinion, rappelons que les différents observateurs qui ont étudié la matière amylacée se partagent en deux camps, au sujet de la nature plus ou moins dense du noyau intérieur du grain d'amidon. Pour les uns, ce noyau est à peu près solide, et se trouve entouré de couches concentriques également solides. Fritsche, Treviranus, Meyen, Schleiden, Al. Braun, Crüger, Schacht, Henfrey, etc., admettent que le grain s'accroît par couches concentriques *qui se superposent de l'intérieur à l'extérieur*. Pour eux, son développement est centrifuge.

Pour MM. Payen et Naegeli, le développement du grain de fécule est centripète, mais Payen fait du hile un entonnoir servant à l'introduction de la matière amylacée, disposition complétement inexacte. M. Naegeli, au contraire, renouvelle complétement, par la théorie de l'intussusception, la manière de concevoir la constitution et la formation du grain d'amidon. Pour lui, le centre du grain est demi-fluide.

Ces théories, comme on le verra plus loin, sont complétement rejetées par M. Trécul qui n'admet pas l'existence, au centre du grain, d'un *noyau solide*.

Tandis que la plupart des observateurs ont vu dans le grain d'amidon un élément subordonné à la cellule, Karl Müller [2] dé-

---

[1] Sachs. *Traité de botanique*, 1874, p. 67.
[2] Mémoire cité. Trécul, p. 229.

Digitized by Google

clare « que les cellules elles-mêmes doivent, dans certains cas, « s'être transformées en amidon ». Enfin, il n'est pas inutile de citer l'opinion de Sprengel, qui pense [1] que la chlorophylle, comme l'amidon, est de nature parasitaire. M. Hartig paraît avoir été, au moins sous certains points de vue, le précurseur de M. Trécul ; mais il admet dans le granule de fécule une structure plus compliquée que celle même des cellules les plus complètes.

En effet, il serait composé : 1° d'une membrane enveloppante granuleuse ; 2° d'une paroi cambiale non azotée ; 3° de lamelles de stratification d'une bande *astathe,* roulée en spirale, qui peut être remplacée par des granulations globuleuses de même nature ; 4° d'une membrane interne mince recouvrant la cavité intérieure. Chacun de ces grains se développe, suivant M. Hartig, dans des vésicules grandes ou petites (*macro* et *microphysalides*), logées entre la membrane externe et la membrane interne (utricule primordial) de la cellule mère, et provenant de la masse chlorophyllienne chassée du nucléus. Ces *physalides* pourraient, suivant les cas, donner de la chlorophylle, de l'amidon, de l'aleurone, ou contribuer à l'accroissement de la membrane même de la cellule.

Cette théorie explique la raison pour laquelle le grain d'amidon est souvent entouré d'une pellicule qui ne bleuit pas par l'iode. Quand cette pellicule ne s'aperçoit pas dans les préparations microscopiques, on peut, dans certains cas, la retrouver dans les cellules d'où l'on a extrait les matières amylacées en observation.

Le rôle de la bande stratifiée *astathe* [2] est de produire les couches concentriques dans les grains d'amidon à structure stratifiée ; dans certains cas elle se résout en granules (Graminées).

Le nucléus lui-même peut en produire directement à l'aide de physalides développées dans son intérieur.

Telle est la théorie de M. Hartig relativement à l'origine et au développement des matières amylacées dans les cellules.

On en trouve une ébauche dans les travaux de M. Crüger [1]. L'amidon provient, selon lui, du protoplasma, et le grain en se détachant de la cellule mère en retient toujours, sous forme de pellicule, une portion qui ne se teint pas en bleu par l'iode. C'est la « *substance de transition* » de M. Crüger.

---

[1] Mémoire cité. Trécul, p. 227.

[2] Nous avons cherché vainement dans le mémoire de M. Hartig la signification du mot astathe.

Digitized by Google

Ces faits ont été vérifiés par M. Trécul [1], mais il leur donne une interprétation différente : « Il y a un fait certain, c'est qu'il « existe chez quelques plantes, à la base du grain à centre orga- « nique excentrique, pendant une partie de son développement, « quand même il n'est plus attaché à la paroi, un peu de proto- « plasma vert ou incolore au milieu duquel ce grain est né; mais « ce n'est assurément point lui qui forme les couches amylacées « nouvelles, et je le prouverai par des faits et des arguments « irrécusables, tirés de l'examen d'une plante même citée par « M. Crüger. »

Telles sont les principales théories qui ont eu cours sur cette question, jusqu'au moment (1858) où parut le remarquable mémoire de M. Trécul, qu'on ne saurait trop citer. Les grains d'amidon apparaissent [2] : 1° dans le protoplasma; 2° à la surface du nucléus; 3° plus rarement dans l'intérieur du nucléus. On peut les comparer, en raison de leur développement, aux cellules végétales, et leur accroissement se fait de telle façon que les couches intérieures sont moins denses que les extérieures. M. Trécul étudie aussi le développement des grains composés, et nous allons successivement passer en revue chacune des parties de son mémoire, suivant l'ordre indiqué ici.

Le grain d'amidon naît *dans le protoplasma qui tapisse la face intérieure de la membrane de la cellule.* Dès que ce protoplasma forme une couche assez épaisse, il devient granuleux, et les granules ainsi formés peuvent être remplacés par de plus gros grains. Tandis que les granules jaunissent par l'iode, les grains bleuissent par ce réactif. Les granules sont des éléments azotés dépendant du protoplasma, les grains brusquement développés sont de l'amidon formé à ses dépens.

La multiplication des grains d'amidon fait peu à peu diminuer les éléments azotés granuleux du protoplasma. Au bout d'un certain temps, ces grains remplissent complétement les cellules des plantes riches en fécule.

Lorsque la couche de protoplasma est moins développée, les granules d'amidon produits se dispersent dans la cavité utriculaire et y continuent leur accroissement.

La formation des grains de fécule peut aussi être localisée en

---

(1) Mémoire cité. Trécul, p. 234.
(2) *Ibid.*, p. 250 et suiv.

Digitized by Google

certains points de la couche protoplasmique. Dans le *Mirabilis Jalapa* et chez certaines graminées, le protoplasma pariétal des cellules se condense en plusieurs globules qui deviennent de vrais centres de végétation. Ces « corpuscules protoplasmiques » produisent dans leur intérieur des granules amylacés, qui deviennent bientôt des grains *multiples,* et non des grains *composés.* Il a été impossible, jusqu'ici, de reconnaître l'existence d'une membrane autour de ces grains multiples.

Lorsque le protoplasma pariétal est réduit à une mince couche, il peut se recouvrir, sur sa surface interne, de vraies protubérances [1] produites par accumulation du protoplasma, bientôt rempli de granules d'amidon. Si ces protubérances sont peu étendues, elles prennent peu à peu la forme globuleuse, se détachent du pédicule qui les retenait, et par conséquent de la paroi cellulaire. Bientôt certaines cellules (Amarantacées) se trouvent remplies de ces masses protoplasmiques dans lesquelles naissent des grains multiples, c'est-à-dire agrégés pendant leur jeunesse et libres plus tard.

Dans le *Phytolacca esculenta* (pl. I, fig. 5 et 6) ils sont si peu adhérents entre eux que, sous le microscope, on les voit agités du mouvement brownien. Plus tard, ces grains multiples se dissocient en granules et continuent à grossir, soit par l'accroissement de chacun d'eux, soit par la naissance de nouveaux granules entre les premiers développés. Leur évolution ultérieure sera étudiée plus loin. C'est là, selon M. Trécul, la vraie genèse des grains de beaucoup de graminées, et il est souvent difficile de les distinguer des grains composés vrais.

Les grains simples procèdent de l'utricule protoplasmique, comme les grains multiples. Dans le *Phaseolus vulgaris,* ils se développent comme dans le *Phytolacca.* Les grains d'amidon en voie de formation flottant librement dans le liquide cellulaire, sont entourés d'une membrane qui ne se colore que par l'iode, tandis que leur contenu prend à l'aide de ce réactif une couleur violacée. La matière amylacée de la vésicule amylifère est d'abord liquide, puis elle se condense sur les parois, qu'elle tapisse d'une couche qui, peu à peu s'épaississant, finit par remplir toute la cavité.

En général, la formation de l'amidon se fait parallèlement à la

---

[1] Mémoire cité, pl. 7, fig. 27.

Digitized by Google

formation de la chlorophylle, qui paraît ordinairement présider à sa naissance.

Lorsque le protoplasma est étiré en filaments ou en lames, qui rayonnent de tous côtés, du nucléus vers les parois, c'est dans ces filaments que se produit l'amidon. La surface du nucléus, dans certains cas, peut être le centre de production de la matière amylacée. Tantôt elle paraît dans le protoplasma qui l'entoure immédiatement, tantôt elle peut être considérée comme une excrétion du nucléus. Dans le premier cas, ce dernier atteint des dimensions considérables avant de préluder à la formation des grains d'amidon (*Tradescantia*, *Arum*).

« Chez plusieurs autres plantes, dit M. Trécul [1], l'amidon pa-
« raissait aussi être sécrété en partie par le nucléus ; mais le
« phénomène n'est pas toujours bien évident. Parmi ces plantes,
« le *Viscum album* mérite d'être signalé. Dans les cellules de ses
« jeunes rameaux, le nucléus est entouré de corpuscules de con-
« sistance molle, dont la forme est globuloïde, allongée ou par-
« fois bifurquée. Ceux qui sont encore appliqués à la surface du
« nucléus semblent en émaner ; ils sont, en outre, intéressants
« par la végétation propre indiquée par la division de ceux qui
« sont allongés..... » (Pl. I, fig. 7.)

Ces corpuscules, de substance molle dans certaines plantes (*Lathyrus latifolius*), sont indépendants des vésicules qui produisent l'amidon, quoiqu'ils se colorent en bleu par l'iode. Ils paraissent alors être sécrétés directement par la face externe du protoplasma pariétal, tandis que les grains d'amidon entourés de chlorophylle proviennent directement de l'utricule protoplasmique [2] lui-même.

L'amidon amorphe signalé dans les cellules épidermiques des *Ornithogalum*, pourrait bien appartenir à une formation de ce genre. Il en est de même des couches mucilagineuses donnant avec plus ou moins de netteté les réactions de la matière amylacée, que l'on rencontre dans les racines d'*Aristoloche* et de *Menispermum*.

Les matières amylacées peuvent enfin se produire dans l'*intérieur même du nucléus*. Celui-ci est alors rempli d'une matière granuleuse qui est d'abord de nature azotée, puis se transforme en amidon. Dans l'albumen de l'*Emex spinosus;* cette transformation

---

(1) Mémoire cité, p. 270.
(2) *Ibid.*, p. 271.

Digitized by Google

se fait de la circonférence au centre ; les granules de la circonférence bleuissaient sous l'influence de l'iode, tandis que ceux du centre jaunissaient encore. (Pl. I, fig. 2.)

Suivant M. Trécul, le grain d'amidon est de nature cellulaire ou vésiculaire ; il débute par un granule dont la consistance est presque liquide, de nature azotée, entouré d'une couche ou membrane très-mince. Ce granule grossit et bientôt, dans son intérieur, apparaît un point qui bleuit sous l'influence de la teinture d'iode. Ce point se développe en surface, et peu à peu la réaction caractéristique de l'amidon s'étend sur toute l'enveloppe du granule.

Il arrive quelquefois que celui-ci est assez transparent pour qu'il soit possible d'y distinguer la nature du contenu, qui est souvent floconneux et présente, en général, l'apparence du protoplasma riche en matières solidifiables. C'est par le dépôt de ces matières solidifiables à l'intérieur du grain, que se fait son accroissement et l'épaississement de ses parois. (Pl. I, fig. 3 et 4.)

« Très-souvent, dit M. Trécul [1], la substance solidifiable se « répartit fort inégalement dans l'intérieur de la vésicule ; elle s'y « condense de manière à produire des configurations très-diverses : « car 1° la couche qu'elle forme est tantôt à peu près d'égale épais- « seur partout ; 2° tantôt la couche périphérique engendrée est « très-inégale ; 3° d'autres fois des pores sont ménagés à travers « cette couche ; 4° ailleurs, au contraire, il se fait des proémi- « nences plus ou moins coniques ; 5° ailleurs encore, les proémi- « nences qui, du reste, sont susceptibles d'accroissement, ainsi « que je le dirai bientôt, sont beaucoup plus considérables ; 6° dans « d'autres vésicules, ce sont des cloisons complètes qui ont été « formées dans la cavité. »

De plus, les grains en voie de formation peuvent contenir, dans leur intérieur, une ou plusieurs cavités souvent de grande taille, eu égard à leurs propres dimensions (*Rheum*). Ces cavités sont d'autant plus considérables que le grain d'amidon est moins riche en matière amylacée. C'est ce qui explique la raison pour laquelle on n'en trouve pas trace dans la fécule de pommes de terre.

Le grain primitif ainsi formé, c'est sous la membrane vésiculaire que les premières couches apparaissent. Elles sont d'abord molles, et, dès le début, elles sont assez nombreuses, séparées les unes des autres par des espaces qui, sous l'influence de la

---

[1] Mémoire cité, p. 284.

Digitized by Google

nutrition active de ses couches, finissent par se rétrécir peu à peu.

Cet épaississement des couches se fait par *intussusception*, c'est-à-dire, d'une manière tout à fait analogue à celle de l'accroissement de la paroi cellulaire ; il précède leur dédoublement, qui peut se répéter deux ou plusieurs fois.

Ce dédoublement se fait, dans certains cas, de telle façon que les couches, ou feuillets, résultant du dédoublement, sont séparées les unes des autres par une « strate » brillante, assez ordinairement moins large que celle qui limite à l'intérieur chaque couche primitive. Il arrive souvent que ces couches secondaires sont plus épaisses vers le centre organique du grain, et M. Trécul parle de cas où il se produit des couches tertiaires. C'est à l'aide du chlorure de chaux employé à froid, que ces résultats si remarquables ont été obtenus.

Le mode de nutrition et les voies par lesquelles se fait l'absorption de la matière nutritive par le grain de fécule, plongé dans le protoplasma ou dans le liquide cellulaire, ne nous sont pas connus.

M. Trécul cite cependant des grains d'amidon de graminées (Panicées) dans lesquels il existe des canaux poreux traversant complétement les couches amylacées. C'est à l'endosmose qu'il convient d'attribuer les phénomènes d'échange par lesquels la matière nutritive arrive jusqu'aux couches en voie de formation.

Quant à la structure des couches elles-mêmes, voici comment M. Trécul la comprend [1]. La fécule de pommes de terre, sous l'influence du chlorure de chaux, perd, au bout d'un certain temps, ses couches concentriques. Elles sont remplacées par des fibres, ou des sortes de « cristaux fibreux », qui sont toutes dirigées vers le centre organique, et dont la forme se rapproche d'un cône irrégulier. C'est à peu près la structure des rognons de pyrite de fer à cristallisation rayonnée.

Les couches du grain de fécule se multiplient en raison directe de sa richesse en matières amylacées. Dans les Polygonées et dans quelques Graminées, les enveloppes sont peu épaisses, et il reste au centre une cavité assez grande, dans laquelle aucune couche ne se développe. Dans d'autres Graminées au contraire, et dans la plupart des fécules employées dans l'industrie, la cavité

---

[1] Mémoire cité, p. 288.

Digitized by Google

centrale est nulle, par suite de la multiplication des couches jusque dans le voisinage du centre.

C'est à cause de ce fait que les grains de fécule ont d'abord été considérés comme formés d'une matière complétement solidifiée. On voit que, suivant cette théorie, toutes les couches ne sont pas formées d'avance jusqu'au centre du grain, mais qu'elles se produisent les unes après les autres aux dépens du plasma central, et qu'elles s'épaississent peu à peu, par l'apport de la matière nutritive.

Le grain primitif a d'ordinaire une forme globuleuse, lorsqu'il naît librement dans la cellule; quand il est fixé aux parois de celle-ci, il peut s'allonger. Dans les deux cas, les couches qui viennent se mouler plus tard autour de lui se développent également ou inégalement, de manière à produire un grain de fécule sphérique ou plus ou moins ovoïde, ou excentrique.

Quand les couches les plus jeunes s'accroissent plus vite que les anciennes, le grain peut devenir conoïde.

La direction suivant laquelle se fait le dépôt des couches concentriques d'accroissement peut changer pendant l'évolution du grain. D'abord longitudinale, elle peut devenir brusquement transversale. L'indépendance complète de chacun des systèmes de couches par rapport au contenu de la cavité centrale du grain est ainsi démontrée. L'importance de l'*ouverture hilaire* ne paraît pas très-grande à M. Trécul. Il admet que les grains amylacés produits dans les cellules, peuvent continuer à se développer sans que le hile ou les *centres d'accroissement* qui les représentent se trouvent en contact avec le protoplasma. Ils peuvent même être détruits sans gêner en rien l'évolution du grain.

Le développement des grains composés, vrais ou faux, aux dépens des masses protoplasmiques, ne s'arrête pas où nous l'avons laissé (page 39). Dans chacun des grains ainsi formés, soit avant qu'il n'ait produit aucune couche concentrique (*grains composés proprement dits*), soit après, il peut naître des grains secondaires.

Ces grains secondaires naissent de la division de la vésicule amylacée, par trois procédés différents de cloisonnement. Ce sont [1] : « 1° le cloisonnement qui se fait en même temps sur « toute la largeur de la vésicule; 2° le cloisonnement centripète « effectué par la couche protoplasmique amylacée qui s'avance de

[1] Mémoire cité, p. 315.

Digitized by Google

« la circonférence vers le centre et étrangle en quelque sorte la « cavité vésiculaire; 3° la division du plasma amylacé en deux, « trois, quatre ou plusieurs masses qui s'individualisent, et au « milieu de chacune d'elles se fait ensuite une cavité, comme « nous l'avons vu dans la vésicule originelle ou granule primitif « de diverses plantes, dans la vésicule nucléaire naissante et dans « diverses sortes de vésicules.

« Le troisième mode de multiplication ou de division de la « vésicule amylacée me paraît être de beaucoup le plus fréquent; « mais il présente deux modifications principales : ou le contenu « de la vésicule mère est peu riche en principes amylacés, ou ce « contenu est très-riche. Dans le premier cas, c'est-à-dire quand le « contenu est moins riche en principe amylacé, nous le voyons « se répartir au pourtour de la vésicule, quand celle-ci grandit, de « la même manière que le protoplasma de la cellule. »

Certaines plantes présentent à la fois ces trois modifications dans la production des grains (*Iris florentina*).

Suivant M. Trécul, on peut placer de la manière suivante les grains composés vrais et faux :

1° Les grains dépourvus d'enveloppe générale commune, et composés d'un plus ou moins grand nombre de grains simples, *Salsepareille, Avena, Arrhenaterum, Phleum, Eleusine*, etc.

2° Pourvus d'une enveloppe commune, simple, *Victoria regia, Nuphar lutea, Nymphea alba*. C'est au moyen de coupes très-minces de l'albumen de ces plantes, et avec l'aide du chlorure de zinc ou de l'acide sulfurique, qui dissolvent les granules, qu'il est possible d'isoler cette membrane d'enveloppe commune.

3° Pourvus de plusieurs couches communes dont le nombre peut varier. Ces grains sont ausssi appelés *tardivement composés*, parce qu'en effet ils n'ont produit des grains secondaires qu'au moment où déjà ils avaient produit des couches concentriques.

Les grains d'amidon du rhizome du *Canna gigantea*, peuvent servir d'exemples de grains de cette catégorie. On en trouve souvent aussi dans la fécule de pommes de terre.

Quant aux grains *multiples* ou *agrégés*, ou bien ils sont sécrétés par un globule de protoplasma, comme on l'a vu plus haut, ou ils naissent dans un grain de chlorophylle, dans une vésicule colorée en rouge-orange, ou dans une vésicule à plasma incolore.

Ces deux sortes de grains, s'ils restent agrégés quand leur déve-

Digitized by Google

loppement est complet, ne peuvent pas être distingués des grains composés vrais. (Voir plus haut.)

M. le professeur Robin, dans le tableau que nous lui avons emprunté, caractérise, selon nous, d'une manière plus claire les grains qu'il appelle *composés* ou *cohérents*. Il paraît reconnaître, si nous comprenons bien son idée, que ces agencements des grains ont souvent une certaine régularité. On peut y reconnaître des grains centraux. Le groupement peut se faire d'après un type simple (Marantacées), deux à quatre grains. Les granules de l'agglomération du grain de fécule du manioc sont presque de même grosseur et sont réunis par deux ou par quatre. Le sagou, enfin, présente un gros grain réuni à un grand nombre de petits.

On pourrait faire à la théorie de M. Trécul, que nous venons d'exposer avec détail, un certain nombre d'objections.

Est-il prouvé que le grain d'amidon commence par une vésicule destinée à lui servir en quelque sorte de noyau? Peut-on démontrer que les grains en voie de formation contiennent dans leur intérieur des cavités souvent de grande taille, eu égard à leurs propres dimensions? Comment faut-il comprendre des grains d'amidon peu riches en matières amylacées? Enfin, et nous nous bornerons là, n'est-il pas difficile de comprendre cette transformation brusque de la substance protoplasmique en substance amylacée dans la production du grain d'amidon aux dépens du protoplasma? Où a passé l'azote de celui-ci? Est-il prouvé que ce sont bien les granules azotés flottant dans le protoplasma, qui se sont si brusquement transformés en granules hydrocarbonés de fécule?

S'il faut prendre parti pour une théorie, c'est donc plutôt à celle de Naegeli que nous donnons la préférence. Cet auteur a insisté, à juste titre, sur la formation de l'amidon aux dépens de la chlorophylle, premier stade de la production de la matière féculente dans les plantes. Il nous paraît avoir aussi suivi plus complétement le développement de l'amidon dans les organes des plantes, feuilles, tiges, tubercules, fruits, que M. Trécul.

Quant à l'étude du grain d'amidon parfait, tel qu'il existe dans les organes des plantes, où il s'accumule sous la forme de réserve, nul ne paraît l'avoir poussé plus loin que M. Naegeli.

Ses théories sur l'accroissement du grain, sur la structure des couches concentriques, sans être parfaites, répondent assez bien aux notions que l'on possède actuellement sur la matière.



Digitized by Google

Nous admettons donc que :

1° La matière amylacée se présente toujours sous des formes définies de grains;

2° Le grain d'amidon naît dans le protoplasma de la cellule, soit dans le protoplasma coloré par la chlorophylle et plus ou moins condensé en corps chlorophylliens, soit dans le protoplasma incolore;

3° Le grain d'amidon formé par les corps chlorophylliens précède dans l'évolution de la plante le grain d'amidon formé par le protoplasma incolore; il n'a ni stries, ni hile, comme ce dernier;

4° C'est par une sorte de précipitation que se produit, au sein du protoplasma coloré ou incolore, le granule d'amidon, mais cette précipitation s'accompagne d'un phénomène d'intussusception qui lui enlève tout caractère chimique ou physique;

5° L'accroissement se fait par l'intermédiaire d'un noyau demi-fluide qui s'exfolie peu à peu. Cette exfoliation est centripète;

6° Les couches successives ainsi formées se nourrissent, s'accroissent par intussusception; elles sont, dans certains cas, alternativement claires et sombres;

7° Il est probable que ces apparences sont dues à un degré d'hydratation différent de chacune de ces couches;

8° Les grains composés et multiples, résultent de divisions successives du noyau central du grain. Chacun des centres nouveaux de formation s'entoure de couches plus ou moins indépendantes les unes des autres;

9° Il peut se faire que le grain d'amidon retienne une pellicule où des débris du protoplasma qui lui a servi de matrice;

10° Les grains simples et composés d'amidon n'ont pas la valeur d'une cellule naissant dans une autre cellule, mais d'un dépôt d'une nature spéciale, doué de propriétés chimiques, physiques et physiologiques.

## III. — Rôle de la fécule dans la plante. Résorption des grains.

On peut résumer le rôle des matières amylacées dans les plantes de la manière suivante :

Les matières amylacées apparaissent deux fois dans la vie de la plupart des plantes : 1° dans le *grain de chlorophylle* ou *dans le corps chlorophyllien,* où elles sont le résultat de l'assimilation

Digitized by Google

opérée par ces organes aux dépens de l'acide carbonique de l'air ; 2° dans le *protoplasma incolore* de différents tissus et organes des plantes (tubercules, rhizomes, etc.), qui n'assimilent pas directement, mais qui reçoivent des parties assimilatrices des sucs élaborés contenant de l'amidon, ou tout au moins un de ses dérivés chimiques solubles, sous une forme encore indéterminée.

C'est à un phénomène de transport de ce genre qu'on attribue la présence de l'amidon dans les amylobactéries, champignon schyzomycète, qui ne pourrait vivre que dans des liquides contenant les éléments dissous de l'amidon.

Suivant M. Mer (1), on ne trouve pas d'amidon dans la chlorophylle de toutes les plantes, comme du reste l'a démontré M. Deherain. Les feuilles des graminées, de buis, de lierre, de conifères, ne renferment pas d'amidon durant l'hiver. M. Mer n'en a trouvé, au mois de juillet, ni dans les feuilles de *Cycas*, ni dans celles de *Latania*, exposées au soleil. Il aurait de plus remarqué que certaines plantes, maintenues à une lumière diffuse, même assez intense, peuvent vivre et se développer sans qu'il soit possible de constater de l'amidon dans leurs tissus.

On explique de même la présence d'amidon dans les plantes parasites regardées comme complétement dépourvues de chlorophylle (*Neottia, Orobanche*, etc.). Selon Wiesner (2), ces plantes contiendraient des traces de chlorophylle, mais en quantité insuffisante pour élaborer de l'amidon. Celui-ci proviendrait probablement de l'hôte aux dépens duquel vivent les *Orobanches, Neottia*, etc. Il y aurait eu dissolution de l'amidon de réserve de l'hôte ou plante-support, transport dans le parasite, nouvelle précipitation et organisation.

C'est aux cristalloïdes contenus dans les cellules du *Neottia nidus avis*, que M. Wiesner attribue la propriété de faire apparaître la couleur verte de la chlorophylle sous l'influence des dissolvants de celle-ci, éther, alcool, benzine. Mais les acides énergiques, les alcalis, la possèdent aussi.

La chaleur même, par l'intermédiaire de l'eau, peut faire verdir cette orchidée parasite.

Selon M. Prilleux, à qui nous empruntons ces faits (3), le ver-

---

(1) *Bulletin de la Société botanique de France*, 13 juin 1873, p. 179.

(2) *Die Rohstoffe des Pflanzenreichs*, 1873, p. 239.

(3) *Bulletin de la Société botanique de France*, séance du 13 juin 1873, p. 182.

Digitized by Google

dissement du *Neottia* est un phénomène en quelque sorte cadavérique. La substance du cristalloïde produirait de la chlorophylle par suite d'une altération et non parce qu'une matière étrangère disparaissant, elle pourrait apparaître seule.

Du reste, il est évident que, dans le cas même où il en existerait des traces, son influence serait bien minime, comparée à l'influence décisive qu'a cette matière colorante dans les plantes vertes.

Nous suivrons le cycle d'évolution de la matière amylacée en commençant par la prendre à l'état naissant, dans les grains ou corps chlorophylliens, pour l'amener jusqu'à sa reconstitution à l'état de grains complets, dans les organes de plantes où elle sert de réserve.

Pour qu'une plante produise de l'amidon, il faut qu'elle ait des feuilles bien développées, si c'est une plante feuillée, ou des cellules végétatives riches en chlorophylle, si c'est une plante non feuillée. Dans les deux cas, la lumière étant indispensable à la production de la chlorophylle, l'est aussi à la production de l'amidon.

En effet (1), les jeunes plantes qui, par une germination prolongée à l'obscurité, ont épuisé la réserve nutritive de leurs cotylédons ou de leur périsperme, développent de la chlorophylle, dès qu'elles sont exposées à la lumière. Ce n'est que plus tard, à l'intérieur des grains de chlorophylle, que se formeront les grains d'amidon, par le procédé que nous avons indiqué plus haut.

Dès que la plante est en possession de fabriquer directement l'amidon par l'intermédiaire de la chlorophylle, il s'accumule, au moins provisoirement, dans les feuilles.

Une feuille qui a atteint son développement (2) ne peut continuer à vivre qu'à la condition de former constamment de l'amidon, qui lui est repris au fur et à mesure de sa production. Aussi, voit-on périr les feuilles adultes soumises à une lumière trop faible pour que la condensation de matières hydrocarbonées, sous forme amylacée, se fasse.

L'amidon et la glycose disparaissent avant le grain de chlorophylle. La feuille n'élaborant plus, consomme, vit à ses propres dépens et dépérit.

Ce n'est donc pas dans les organes de production même de l'amidon qu'il est utilisé. C'est un article d'exportation, si l'on peut

---

(1) Sachs. *Traité de botanique*. Trad. van Tieghem, p. 829.
(2) Mer. *Bulletin de la Société botanique*, 1873, p. 169.

Digitized by Google

s'exprimer ainsi, aussitôt enlevé que fabriqué. Les feuilles représentent l'offre, les organes en voie de formation, la demande. Mais il faut un intermédiaire qui transporte le principe immédiat demandé, sous une forme commode, la seule forme possible dans les échanges qui se passent dans le végétal, la forme liquide, d'où la nécessité pour l'amidon de se transformer en un de ses isomères, amidon soluble, glycose.

D'après Sachs [1] « dans la betterave en voie d'accroissement, « par exemple, l'amidon produit par les feuilles se transforme « déjà dans les pétioles en glycose, lequel à son tour, parvenu « dans la racine tuberculeuse, devient du sucre de canne. Dans le « topinambour (*Helianthus annuus*), l'amidon devient de l'inuline, « qui chemine à travers la tige pour se condenser dans les tuber- « cules souterrains. Dans la pomme de terre, l'amidon formé par « les feuilles se transforme dans les tissus conducteurs en une « substance analogue au glycose, qui se rend dans les tubercules « en voie d'accroissement, et là fournit évidemment les matériaux « nécessaires à l'énorme masse d'amidon qui s'y constitue. De leur « côté, les fruits et les graines en voie de maturation renferment « ordinairement du glycose en abondance, mais à la maturité ce « glycose disparaît des graines à mesure que ces réservoirs nu- « tritifs se remplissent d'amidon. Dans le ricin, la matière grasse « de l'endosperme s'organise évidemment aux dépens d'une « substance sucrée tirée de la tige ; l'embryon de cette plante, « comme celui des crucifères, est le siége d'une formation tran- « sitoire d'amidon en petits grains, qui disparaît à maturité et se « trouve remplacé par de l'huile grasse. »

Nous venons de voir que dès que la jeune plante, pourvue ou non de feuilles, a produit des cellules dites végétatives ou de vraies feuilles, elle est capable de produire de l'amidon; mais pour arriver à ce degré de son évolution la plante a eu besoin d'une réserve d'amidon.

Cette réserve, elle l'a trouvée dans la cellule végétative, la spore sexuée, dans la spore asexuée, ou dans la graine.

Ces organes contiennent, en effet, dans leurs cellules, des réserves souvent considérables d'amidon, produit aux dépens du *protoplasma incolore*.

Les champignons, sauf les amylobactéries, font exception à

---

[1] *Traité de botanique*. Trad. van Tieghem, p. 831.

Digitized by Google

cette règle; comme les plantes phanérogames privées de chlorophylle, ils ne contiennent pas d'amidon dans aucun de leurs organes.

Il n'en est pas de même des algues, soit inférieures, soit supérieures. Les desmidiées (*Cosmarum botrytis, Closterium lunula*) ont des grains d'amidon symétriquement disposés dans leur endochrôme à l'époque où ils préludent à leur segmentation, et les deux algues nées de la division se les partagent également.

Les gonidies des lichens qui, suivant une théorie admise par beaucoup de naturalistes, sont des algues voisines des *Nostocs, Cystococcus,* etc., bleuissent seules par l'iode sur une coupe de lichen. Ce caractère permet donc d'isoler les deux éléments dont se compose celui-ci. Cependant il paraîtrait que, parfois, les asques [1] même bleuissent, quoique faisant partie du champignon ascomycète, parasite de l'algue gonidiale. Les spores sexuées ou asexuées d'un certain nombre d'algues contiennent aussi de l'amidon.

Dans les cryptogames plus élevés de la série, les matières amylacées se rencontrent aussi quelquefois dans les spores (macrospore du *Marsilia salvatrix*) [2]. C'est encore une réserve destinée à la nourriture de l'embryon.

L'accumulation de ces matières amylacées devient importante dans les graines périspermées ou apérispermées. C'est là que l'industrie va les chercher, pour les extraire à l'aide de procédés mécaniques, qui ont tous pour résultat d'isoler le grain de la cellule dans laquelle il se trouvait contenu.

Ces accumulations de matières amylacées sont encore fréquentes dans les bourgeons souterrains (tubercules de pommes de terre), dans les rhizomes (arrowroot). Plus rarement on en trouve dans le tissu fondamental de l'axe aérien (Cycadées).

Dans les plantes vivaces, l'accumulation de ce principe immédiat se fait aussi dans les parties profondes de l'écorce et dans les rayons médullaires. Cet amidon provient des feuilles. Selon Sachs [3], « quand vers la fin de la période végétative les feuilles « se vident, et que toutes les parties annuelles meurent, non-seule- « ment l'amidon que les organes ont formé en dernier lieu, mais « encore la substance même des grains de chlorophylle se redis- « sout et, traversant le pétiole, se rend aux réservoirs nutritifs.

---

(1) Pelletan. *Le Microscope,* 1876, p. 491.
(2) Sachs. *Traité de botanique,* trad. van Tiegh., p. 514.
(3) *Idem,* p. 831.

Digitized by Google

« Les feuilles se vident : toutes les substances encore utilisables « qu'elles renfermaient sont incorporées aux organes vivaces. « Elles se décolorent : ordinairement il reste dans les cellules du « mésophylle, comme débris des grains de chlorophylle dissous, « une quantité de très-petits grains jaunes brillants ; c'est pour- « quoi les feuilles vidées jaunissent en automne, et quand elles « paraissent rouges, cela provient d'un liquide rouge qui, outre « les petits grains jaunes, remplit les cellules. »

Ces réserves d'amidon des parties profondes de l'écorce des arbres ou des plantes vivaces sont, comme les réserves des graines ou spores, destinées à la formation de cellules nouvelles, à l'époque où l'activité formatrice des plantes se réveille.

On a pu, à l'aide des réactifs chimiques du glycose et de l'amidon, suivre au moins une partie de ces métamorphoses de l'amidon.

M. Mer a légèrement modifié le procédé de Sachs (par l'iode) : « Sur la feuille à examiner, dit-il [1], je découpe des sections « transversales très-minces et je les plonge dans l'alcool jusqu'à « décoloration complète ; cet effet se produit plus ou moins « rapidement, suivant le degré d'épaisseur des sections, l'espèce « sur laquelle on opère et l'âge de la feuille.

« M. Sachs ne pratique les sections qu'après le traitement par « l'alcool, mais il faut alors beaucoup plus de temps à la matière « verte pour se dissoudre. A la suite d'un court lavage à l'eau des « sections décolorées, je fais macérer plusieurs heures dans une « solution sirupeuse de potasse, étendue de son volume d'eau, « afin d'enlever la partie albuminoïde des grains de chlorophylle. « Après un nouveau lavage à l'eau, puis à l'acide acétique, les « préparations sont placées sous le microscope avec addition d'une « goutte de solution iodée. Je me sers d'une solution aqueuse « d'iode, au lieu de la solution d'iode dans la glycérine, recom- « mandée par M. Sachs, et dont l'emploi n'est pas commode. »

Mais le plus souvent nous ne connaissons pas le lien qui unit l'amidon élaboré par les feuilles, à l'amidon accumulé dans les plantes sous forme de réserve, ni celui qui unit l'amidon accumulé ainsi à l'amidon organisé sous forme de granules dans le mérystème des jeunes plantes ou des bourgeons. Les voies parcourues par la solution complexe qui transporte, là où besoin est,

---

[1] *Traité de botanique*, trad. van Tiegh., p. 832.

Digitized by Google

les éléments de l'amidon, sont d'une part le parenchyme, d'autre part les cellules à parois minces du liber et des faisceaux vasculaires.

D'après Sachs [1], les cellules du parenchyme fondamental, présentant toujours une réaction acide, doivent surtout conduire les matières amylacées. Cependant, sauf le cas d'un transport très-rapide, épuisement automnal des feuilles, élongation trop précipitée des axes (courge, ricin), on ne trouve guère de granules d'amidon dans les tubes criblés.

En résumé, on ne peut dire que l'amidon n'a pas dans les plantes de fonctions spéciales à remplir. C'est un vrai article d'échange qui ne s'accumule jamais nulle part que provisoirement, et qui a pour but de concourir, pour une large part, à l'entretien de la vie de l'individu comme à la vie de l'espèce.

L'amidon, enfin [2], disparaît rapidement des fragments de végétaux (feuilles ou tiges) détachés de leur pied et maintenus dans un état d'humidité suffisant.

Voici quelques expériences que M. Mer a faites à ce sujet :

« 1° De jeunes feuilles et inflorescences de jacinthe, de feuilles « de fusain du Japon, qui contenaient de l'amidon avant d'être « cueillies et abandonnées à la lumière diffuse, n'en renfermaient « plus au bout de huit jours. Leur dessiccation n'était pas absolu- « ment complète. Au bout du même temps, j'en ai encore trouvé « dans les stomates des feuilles de fougères.

« 2° Des branches de conifères, contenant de l'amidon dans la « moelle et les rayons médullaires, ont été abandonnées à la des- « siccation spontanée. Après quinze à vingt jours, la moelle n'en « avait presque plus, alors que les rayons médullaires en possé- « daient encore en assez grande quantité.

« 3° Des sections transversales de pétioles de fougères, remplies « d'amidon, furent maintenues dans l'eau pendant dix jours. Au « bout de ce temps, il n'y avait plus d'amidon qu'autour des fais- « ceaux vasculaires.

« 4° Des feuilles de lycopode et de sélaginelle, maintenues « humides, avaient en grande partie perdu leur amidon au bout « de huit jours, et totalement ou bout de quinze. »

Les feuilles soumises à une dessiccation rapide gardent leur

---

(1) *Bulletin de la Société botanique,* 1873, p. 177.

(2) M. Mer. *Bulletin de la Société botanique,* 27 juin 1873, p. 204.

Digitized by Google

amidon. Il n'en est pas de même des plantes conservées en herbier. Ces plantes, au bout d'un certain temps, cinq à six mois, n'en contiennent plus.

On ne sait sous quelle forme disparaît la matière amylacée dans ces conditions, qui sont celles que présentent certains aliments, fourrages comprimés ou desséchés à l'air, conserves faites à l'air libre.

La *résorption* des grains de fécule dans la plante doit être étudiée dans les cellules à protoplasma coloré par la chlorophylle ou productrices d'amidon, et dans les cellules à protoplasma incolore, où celui-ci ne joue que le rôle de réserve.

On a constaté sa disparition rapide dans les premières, et nous avons vu plus haut que le granule de matière amylacée, à peine formé dans les parties colorées des plantes, feuilles et cellules végétatives, disparaissait.

Le mécanisme de cette résorption ne se trouve, à notre connaissance, indiqué nulle part, et cela se comprend, en raison de l'extrême ténuité des granules amylacés de la chlorophylle et de l'absence complète de structure feuilletée.

C'est, en effet, à l'aide de cette structure feuilletée qu'il a été possible de suivre les différents stades de la résorption dans les grains de plus grande taille, pourvus de stries concentriques et de hile.

Les cellules à protoplasma incolore se gorgent d'amidon dans les tubercules, les rhizomes, les graines, la moelle des tiges et la partie profonde de l'écorce.

Mais c'est surtout dans les graines et les tubercules que la résorption du grain a été étudiée.

Elle se fait, pendant la germination, par l'intermédiaire d'un dissolvant de la nature des ferments solubles, la *diastase*, d'un ferment moins connu, de même nature, pendant la maturation des fruits.

Quant à la résorption du grain dans la partie profonde de l'écorce et dans les rayons médullaires, elle est aussi peu connue dans ses procédés que la résorption du grain dans les feuilles. Mêmes causes, mêmes effets. Le granule ici, comme là, est trop microscopique, trop simple, pour être suivi pendant sa dissolution. Naegeli paraît avoir été le premier à observer la résorption

Digitized by Google

du grain de fécule de pomme de terre (pl. I, fig. 18) et de *Canna* (1).

Il fit germer des tubercules de pomme de terre, et remarqua qu'au bout d'un certain temps, les jeunes pousses ayant atteint la longueur d'un pied et demi, les grains de fécule étaient en partie résorbés.

L'attaque du grain se fait par l'extérieur.

Elle ressemble à une simple dissolution d'un cristal dans un liquide approprié. On le voit peu à peu se rapetisser, devenir de plus en plus étroit, plus filiforme et enfin disparaître. (Voir pl. I.) Sa résorption ne se fait pas avec une grande régularité, couche par couche, et il semble que certaines parties du grain se laissent plus facilement entamer que d'autres par l'élément dissolvant.

Dans le *Canna lanuginosa,* la résorption du grain de fécule se fait dans des conditions analogues. La résorption de cette matière amylacée, comme celle de la fécule de pomme de terre, se fait plus lentement dans le sens du grand axe que dans celui de toute autre dimension.

En résumé, on peut affirmer que la résorption s'attaque avec plus de vigueur aux parties molles du grain qu'aux parties dures ou épaisses.

Ces recherches reprises par M. Trécul (2), lui ont donné des résultats plus complets.

Lorsque le grain d'amidon est petit et à peu près globuleux, il se dissout avec tant de régularité qu'il conserve à peu près sa forme. Dans ce cas, la stratification du grain est souvent dévoilée par l'action du ferment soluble (pl. I, fig. 16). Quand au contraire le grain a une forme excentrique, l'attaque de l'agent dissolvant commence par le côté opposé au centre organique ou hile, fait que Naegeli avait déjà signalé (3). Comme la dissolution n'a pas lieu également sur toute la surface extérieure du grain, il en résulte pour celui-ci des formes étranglées ou en chapelet. M. Trécul parle aussi d'un mode de résorption particulier qui se fait couche par couche, de telle façon que les lignes qui, au microscope, représentent les couches en voie de résorption, sont de moins en moins longues de la périphérie au centre. Ce sont en

(1) *Die Stärkekœrner*. Zurich, 1858, p. 110.
(2) Mémoire cité, p. 339.
(3) *Die Stärkekœrner*, p. 110 et suivantes.

Digitized by Google

réalité, des « *cônes de dénudation* ». Les fissures, fentes plus ou moins régulières du grain, aident à la dissolution, tandis que la région du hile, comme on l'a vu plus haut, paraît y résister plus longtemps.

Dans d'autres cas, la résorption se fait avec une grande irrégularité (fig. 17, pl. I).

Les grains sont perforés, taraudés, l'agent dissolvant ne suit pas de voies régulières, à moins qu'il ne rencontre des fissures où il pénétrera de préférence, ou des intervalles de couches dans lesquels il pourra s'insinuer. Dans ce second mode de résorption, deux cas peuvent donc se présenter : la texture feuilletée du grain ne se manifestera pas, ou elle se manifestera.

Il arrive enfin aussi qu'avant l'attaque à fond, avec perforation du grain, il y ait eu simplement corrosion superficielle.

Dans tous les cas, l'amidon insoluble, transformé en un de ses isomères solubles, disparaît rapidement, laissant toutes les parties du grain non érodées à l'état d'amidon bleuissant l'iode.

Dans les grains primitivement simples, plus tard (*tardivement*) composés du *Ficaria ranunculoïdes*, la résorption se fait de telle manière que les grains partiels laissent bientôt voir des cavités intérieures qui s'élargissent peu à peu, sans que les parois paraissent avoir été perforés préalablement. Vers la fin de la dissolution du grain, il ne reste plus que des loges que l'on ne découvrait jamais dans les grains entiers.

Pour M. Gris, qui a repris ces études au point où MM. Naegeli et Trécul les avaient laissées, la résorption de la fécule se fait sous l'influence de la germination, suivant deux modes particuliers[1] : « dans le premier, que j'ai appelé *mode de résorption locale*, le « grain, attaqué par places d'une manière irrégulière et suivant « des dessins capricieux, est rongé, troué, mis en lambeaux. A « ce mode se rattache la fécule de tous les grains simples que « nous avons examinés (*Triticum, Secale, Aegylops, Hordeum,* « *Coïx, Zea, Rheum, Rumex, Polygonum*), sauf celle du genre « *Bromus*.

« Dans le deuxième mode de résorption, que l'on pourrait ap- « peler *mode de résorption égale*, le grain semble se dissoudre « d'une manière uniforme, égale et par toute sa surface qui de-

---

[1] *Développement de la fécule et sa résorption. Annales des sciences naturelles* 4e série 1860, p. 138.

Digitized by Google

« meure lisse. Il n'est point troué, déchiqueté, il diminue insensi-
« blement de volume. C'est ce mode de résorption que suit la
« fécule du genre *Bromus* et de tous les genres dont l'albumen
« contient ou a contenu à une certaine époque de son développe-
« ment des grains composés, tels que les *Arum, Alopecurus, Mi-*
« *rabilis, Rivina,* etc. »

Nous sommes de l'avis de l'auteur de l'article « Amidon (1) » du Dictionnaire de botanique de M. le professeur Baillon, au sujet du mémoire de M. Gris sur la résorption des grains de fécule. Il ne nous paraît (2) pas avoir ajouté de notions nouvelles à celles de MM. Naegeli et Trécul sur la matière.

## IV. — Applications diverses des fécules. Étude spéciale de quelques-unes d'entre elles.

Il suffit de parcourir les galeries de l'Exposition universelle de 1878 pour se convaincre de l'importance des fécules comme article d'importation et d'exportation.

Les expositions des différents pays du monde, qui s'y trouvent représentés, contiennent presque toutes des séries remarquables de matières amylacées, destinées aux besoins de l'alimentation ou de l'industrie.

Les régions intertropicales des deux hémisphères se font remarquer par l'abondance des fécules alimentaires ou analeptiques de luxe, *sagou, tapioca, arrowroot.* Ces espèces commerciales sont représentées par de nombreuses variétés. (Exposition des Indes anglaises, néerlandaises, du Brésil, du Nicaragua, etc.).

Quelques fécules alimentaires moins répandues se trouvent aussi représentées dans les vitrines de la section des colonies françaises.

A côté du beau sagou de la Guyane, on peut remarquer les fécules de citrouille, du *Colocasia esculenta* (taro), d'ignames, de convolvulus, du *Pachyra aquatica* (châtaigne d'eau de Cayenne), du *Canna edulis.* Ces diverses espèces de fécule n'avaient jusqu'ici été que des objets de *curiosité.* Espérons que notre colonie, qui vient de trouver de l'or en abondance dans ses alluvions, pourra, dans un avenir peu éloigné, faire de ces fécules un article d'exportation d'une certaine importance.

---

(1) *Amidon,* p. 249, 2e fascicule.
(2) Mémoire cité, p. 346.

Digitized by Google

La Cochinchine a envoyé, sous le nom de *madé*, une fécule que nous avons aussi vu appeler *farine de plantain*, dont l'origine botanique ne nous est pas connue. C'est le du pays riz, et il y est mis en œuvre soit là, soit en France, de manière à revêtir les formes de farine, de poudre, de fleur, etc., etc., de riz.

L'île de la Réunion a exposé la fécule déjà connue de *Sicyos angulata*, la Nouvelle-Calédonie celle du *Cycas caledonica*.

Mais il nous a semblé que c'était surtout dans nos régions tempérées du centre de l'Europe que la production des fécules est intéressante à étudier. Les collections françaises, anglaises, hollandaises, belges, rivalisent au point de vue des variétés de formes que l'industrie peut donner aux produits amylacés tirés du blé, de la pomme de terre, etc.

Dans l'exposition française on trouve l'amidon du blé sous différentes formes, briques, gruaux, marrons, cristaux, fleurs, etc.; celui du riz sous la forme de semoule, de crême, de poudre impalpable, etc.; de maïs sous la forme de semoule, de poudre, etc.

A côté de ces produits, qui paraissent se recommander par leur excellente préparation, s'en trouvent d'autres qui prennent rang parmi les spécialités de farines alimentaires, plus ou moins composées, maydine Dugué, semouline des trappistes du monastère du Port-du-Salut, etc., etc....

L'exposition hollandaise se recommande par ses belles séries de fécules granulées alimentaires. Nous avons enfin trouvé dans celle du Nicaragua une fécule portant le nom de *Yuca*, d'origine botanique inconnue, mais qui pourrait être une espèce de tapioca.

En résumé, il est permis de dire que les produits amylacés des différentes expositions sont surtout remarquables par les belles apparences que l'on sait donner actuellement aux matières premières les plus vulgaires, fécule de pommes de terre, de maïs, etc.

Pour donner une idée de l'importance de la fabrication de la fécule de pommes de terre dans certaines régions de la France, il nous suffira de citer le passage suivant d'un opuscule de M. Guilgot, ancien gérant de l'association féculière des Vosges, Épinal, 1878 (page 83) :

« En 1867, le département des Vosges avait produit 6,748,000
« hectolitres de pommes de terre, ce qui, en évaluant le rende-

Digitized by Google

« ment à 160 hectolitres par hectare, représente 42,175 hectares « affectés à cette culture spéciale.

« Voici comment cette production se répartit :

« 1,407,000 hectolitres pour la nourriture du bétail;

« 2,322,000 — pour la nourriture des habitants et la semence;

« 3,019,000 — pour la fabrication de la fécule et l'exportation.

« La fécule des Vosges est connue en France et à l'étranger « pour sa supériorité; elle donne à l'emploi comme épaississant « un rendement de 10 à 12 p. 100 supérieur aux meilleures fé- « cules de l'Oise.

« Pendant les premières années de sa découverte, la fécule « n'était guère employée que dans les pharmacies.

« C'est en 1828, à la manufacture de Wesserling (Alsace), qu'on « substitua la fécule à la farine qu'on employait au parage des « chaînes de coton et à l'apprêt des tissus blancs et imprimés; « la fécule valait alors de 25 à 26 francs les 100 kilogr. et la fleur « de farine de froment de 35 à 36 francs les 100 kilogr. 5 kilogr. « de fécule ont remplacé 20 kilogr. de fleur de farine : c'était une « dépense de 1 fr. 25 c. seulement au lieu de 6 fr. 80 c. Si l'on « faisait l'énumération des nombreux et importants établissements « cotonniers qui existent aujourd'hui, on serait frappé du bien- « fait qu'a procuré à l'alimentation publique la substitution de la « fécule à la farine dans l'industrie, la manufacture de Wesser- « ling, seule, employant annuellement plus de 800,000 kilogr. de « ce produit.

« L'emploi de la fécule s'est encore étendu à d'autres indus- « tries importantes. Les papeteries en emploient des quantités « considérables dans leurs pâtes; les fabriques de glucoses ou « sucres pour brasseur; la fabrication des sirops clarifiés pour « confiseur, celle des tapiocas et pâtes alimentaires, vermicelles, « etc., etc; celle des leïocommes, dextrines et gommelines pour « l'impression, celle des alcools, avec les bas produits de la « féculerie.

« Les débouchés sont pour l'étranger: l'Alsace, la Suisse, la « Belgique, l'Italie, l'Espagne et l'Angleterre.

« Épinal est devenu le marché régulateur pour toute la France. »

Les matières amylacées, sous les différentes formes que nous venons de voir, sont employées dans l'alimentation journalière,

Digitized by Google

concurremment avec l'amidon des parties vertes des plantes, que l'on ne peut extraire des cellules, et l'amidon des tubercules, rhizomes, etc., qui se trouve dans le même cas, dans les préparations culinaires. Les pâtes alimentaires, le pain, qui sont, dans nos pays, la base de toute alimentation, doivent une partie de leur valeur nutritive à l'amidon plus ou moins transformé qu'ils contiennent. On verra plus loin que la recherche de la fécule de pommes de terre et des légumineuses est la partie essentielle de l'analyse des farines destinées à la fabrication de ces aliments complexes.

Dans l'économie [1], les matières amylacées subissent successivement l'action de la salive, du suc gastrique, de la bile, du suc pancréatique, du suc intestinal.

La salive saccharifie [2] plus rapidement les grains d'amidon gonflés à l'état d'empois que les grains d'amidon cru. Les différentes espèces de salive (salives partielles de Cl. Bernard) n'agiraient pas de même sur eux.

Il y a aussi de grandes différences, suivant les espèces d'animaux. La salive des herbivores est plus active que celle des carnivores.

La salive commence par dissoudre la *granulose* et la transforme en dextrime, puis en glycose.

La *cellulose d'amidon* reste au contraire intacte, et les grains d'amidon paraissent sous le microscope avec leur structure feuilletée plus marquée. C'est en quelque sorte une *résorption égale.*

On attribue généralement à la *ptyaline* le pouvoir dissolvant de la salive sur les grains de matière amylacée.

Le suc gastrique est sans action sur l'amidon ; pour la bile, on n'est pas encore d'accord à ce sujet. Cependant, il paraîtrait que, sous certaines conditions, elle transforme l'amidon en glycose ; mais on peut se demander si ce n'est pas la bile altérée qui se trouve dans ce cas. Le suc pancréatique exerce sur les fécules une action plus rapide encore que la salive ; à 35°, la dissolution est instantanée. Elle n'est pas entravée par la présence de la bile et du suc gastrique.

---

[1] Les grains des fécules, étant extrêmement ténus, se rencontrent aussi dans la partie supérieure des voies aériennes, mucus nasal, bronchique. Ils proviennent alors des poussières atmosphériques qui sont, surtout dans le voisinage des villes, très-riches en matières amylacées.

[2] Voir la partie chimique de l'*Étude des fécules.*

Digitized by Google

Cette action du suc pancréatique sur l'amidon a été étudiée à nouveau par M. Defresne [1], qui a observé que le suc pancréatique diffère de composition, suivant les animaux, mais qu'il contient toujours les principes suivants : *myopsine, stéapsine, amylopsine.*

La myopsine, destinée à dissoudre les matières albuminoïdes, est rare chez les ruminants, abondante chez les carnassiers.

La stéapsine est le dissolvant des graisses.

L'amylopsine, obtenue sous forme de paillettes brillantes, citrines, a le pouvoir de saccharifier vingt-cinq fois son poids d'amidon.

L'action du suc intestinal sur les fécules n'est pas connue.

En résumé, les aliments trop riches en fécule doivent être regardés comme étant de digestion difficile et lente, en raison de l'état moléculaire du grain et de la difficulté qu'ont les agents dissolvants de pénétrer jusqu'à lui.

La valeur nutritive d'une substance alimentaire est souvent en raison inverse de sa teneur en matière féculente (riz, pommes de terre).

Les applications médicales et pharmaceutiques des matières féculentes sont bien restreintes. L'hygiène des convalescents, des personnes débilitées, réclame souvent des aliments analeptiques, que l'on trouve dans l'ordre des fécules exotiques (tapioka, arrowroot, sagou), ou à meilleur compte dans nos fécules indigènes granulées, ou imitant plus ou moins bien ces produits exotiques. Leur usage est fondé sur leur association avec des matières grasses et azotées du bouillon.

L'amidon de blé ou la fécule de pommes de terre sont encore employés pour l'usage interne, en raison de leurs propriétés obturantes (lavements d'amidon). C'est sur le même principe qu'est fondé l'usage des gelées, loochs amidonnés, et même l'emploi de l'amidon cru ou sous forme d'empois, à l'extérieur (cataplasme d'amidon, usage des poudres de fécule, de riz, etc.).

On se sert encore plus rarement de l'iodure d'amidon, que l'on prépare en faisant réagir l'iode dissous dans l'alcool ou l'éther sur l'amidon pur ou nitré.

On obtient ainsi un composé bleu, soluble dans l'eau, dont la formule a été récemment établie $C^6H^{10}O^5,I$?

---

[1] *Répertoire de pharmacie et de chimie,* juin 1878.

Digitized by Google

Dans l'industrie, les fécules servent, comme on l'a vu plus haut, à la fabrication de la dextrine, de la gommeline, de la leïocomme, des sirops et sucres de fécule, si utilisés actuellement dans la fabrication des sirops de fantaisie, des gelées alimentaires, des fruits confits.

Elles servent aussi à la préparation de l'acide oxalique.

La propriété qu'ont les fécules de former un empois est utilisée pour l'encollage des toiles, les apprêts, le collage du papier, l'épaississement des mordants, etc.

Dans l'industrie moderne, on donne plus généralement le nom d'*amidon* aux produits amylacés extraits des graines des céréales, qui comprennent non-seulement les fruits des graminées (blé, seigle, orge, avoine, millet, maïs, riz), mais encore les fruits de deux espèces de sarrazin, *Polygonum fagopyrum* L, et *P. tataricum* L.

Le nom de *fécule*, opposé à celui d'amidon, est réservé aux produits amylacés extraits de la pomme de terre, du marron d'Inde.

Ce sont généralement les blés de diverses provenances qui servent à la fabrication de l'amidon.

Nous croyons utile d'en indiquer sommairement les procédés, de même que les procédés de fabrication de la fécule.

Au point de vue chimique, les blés contiennent : des *parties solubles*, sucre, dextrine, albumine, sels, etc., etc. ; des *parties insolubles*, cellulose (son), amidon et gluten (farine).

Dans les blés durs, les plus riches en gluten, la quantité de matière azotée peut être double de celle du blé blanc.

La décortication et la mouture permettent d'isoler assez exactement la cellulose imprégnée de silice et des sels minéraux ; restent l'amidon et le gluten, intimement mélangés, dont la séparation constitue le point important de la fabrication.

C'est donc sur cette séparation que nous devons fixer notre attention.

Pour obtenir ce résultat, on peut suivre deux marches nettement distinctes :

Dans le premier cas, on rend le gluten soluble pour en débarrasser l'amidon, c'est le procédé chimique ;

Dans le second cas, on profite de sa plasticité pour le séparer mécaniquement de l'amidon.

Le premier procédé s'applique aux farines avariées, auxquelles



Digitized by Google

le second procédé n'est pas applicable ; il possède certains inconvénients, ce qui fait réléguer les amidonneries dans la catégorie des industries les plus insalubres et devant être éloignées de toute habitation.

L'autre procédé, applicable aux farines de bonne qualité, permet en outre de recueillir le gluten qui sert à la préparation des pâtes alimentaires, pâtes d'Italie et aujourd'hui de France.

### *Ancien procédé. — Procédé chimique.*

Le grain, préalablement broyé par des procédés mécaniques, est mis à macérer pendant plusieurs semaines dans de l'eau additionnée du liquide d'une opération précédente, et appelée *eau sure* des amidonniers.

Cette eau facilite le travail de la dissolution du gluten. Dans cette réaction, outre les acides divers qui se forment et déterminent la dissolution du gluten, il se dégage de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré, d'où l'insalubrité de l'opération.

La liquéfaction du gluten réalisée, on étend la masse d'eau et on la passe à travers des tamis de plus en plus fins qui retiennent le son.

Le liquide filtré est abandonné à lui-même. L'amidon entraîné se dépose ; il est purifié par des lavages répétés et enfin passé à un tamis fin. Le blanchiment s'obtient par des procédés spéciaux aux fabricants et peu connus, alcalis et acides étendus. On termine par un lavage à l'eau et on dessèche progressivement.

### *Procédés mécaniques.*

Dans les divers procédés mécaniques on prend ou bien de la farine ou du grain, qu'on met macérer dans de l'eau pendant deux ou trois jours.

On forme ainsi une pâte qu'on traite par un courant d'eau dans des appareils spéciaux, où le gluten aggloméré reste en majeure partie, tandis que l'amidon est entraîné.

Après plusieurs filtrations à travers des tamis, on profite ordinairement des avantages que fournit le plan incliné.

L'amidon, plus lourd, se dépose le premier ; les parties les plus

Digitized by Google

légères sont entraînées. On le recueille ultérieurement et on lui fait subir des purifications successives par lavages dans de grands baquets, après quoi on le dessèche.

Il est important de dessécher progressivement sur des aires en plâtre, d'abord à l'air libre, puis dans des étuves chauffées régulièrement et progressivement jusqu'à 60°.

L'amidon, refroidi quelque temps, éprouve un retrait irrégulier et se fendille suivant des directions ondulées mais grossièrement parallèles, de sorte qu'il se présente sous forme de petits prismes basaltiques, cristaux d'amidon. Cette apparence est exigée par le commerce, car elle est un gage de sa pureté et de l'absence de la fécule de pomme de terre.

### *Extraction de la fécule.*

Dans cette fabrication, ce qui entrave l'extraction de la fécule, ce n'est plus une matière azotée, mais la structure aréolaire du tissu qui emprisonne et retient le grain.

On a vu, après des gelées assez fortes, des pommes de terre ayant conservé toute leur fécule et dont on ne pouvait retirer qu'une faible quantité, parce que les cellules avaient été séparées et non rompues par les gelées. (Payen.)

On est donc réduit à un travail purement mécanique pour l'extraction de la fécule.

Des pommes de terre sont lavées à grande eau, débarrassées de la terre et des cailloux qu'elles renferment, puis soumises à l'action d'une râpe faisant de 700 à 800 tours par minute, sous un courant d'eau continu.

La pulpe est reçue dans des tamis métalliques cylindriques tournant sur leur axe, à mailles de plus en plus petites. Ils retiennent la cellulose, tandis que la fécule passe entraînée par l'eau.

On la reçoit sur un plan incliné très-long, puis on la purifie dans une série de grands baquets où, en vertu de sa densité, elle se dépose la première, laissant à la surface les substances étrangères.

Elle est ensuite séchée, en prenant les mêmes précautions que pour l'amidon.

L'étude du problème, si souvent posé par les hygiénistes, de l'examen des farines avariées ou adultérées, forme le complément

Digitized by Google

naturel de ces notions succinctes sur l'amidon du blé et la fécule de pomme de terre.

Pour analyser complétement une farine il faut :

1° *Rechercher les matières inorganiques* à l'aide de l'incinération, qui donne 0gr,15 p. 100 de résidus.

2° *Déterminer l'eau hygrométrique*, moyenne de 15 à 17 p. 100.

3° *Rechercher le gluten*. La farine de troisième qualité donne 21 p. 100 de gluten humide, celle de qualité supérieure de 24, 26 à 30 p. 100.

4° *Rechercher la fécule de pomme de terre*. Ses caractères microscopiques permettent de la reconnaître facilement au milieu des grains de l'amidon du blé. La fécule de pomme de terre est rarement formée de granules composés ; les grains simples sont ovalaires et toujours assez nettement striés (fig. 11, pl. I). Les pommes de terre non mûres donnent une fécule formée de gros grains ordinaires, à côté de grains de petite taille de forme sphérique ou ovoïde, à peine striés. Le hile est toujours à l'extrémité amincie de ceux-ci, dont l'excentricité est de 1/4 à 1/6. Les grains de fécule de pomme de terre, quelle que soit leur position sur le microscope, donnent la croix noire dont nous avons parlé plus haut.

5° *Rechercher la farine de légumineuses*. Les farines de lupins, de pois, de lentilles, de fèves de marais, de vesces, peuvent servir aux falsifications. On les connaît sous le nom de *féverolle*. Les globules amylacés de ces graines sont ovoïdes, à hile allongé et de forme variable dans la même plante. Comme ils sont enfermés dans un tissu aréolaire, à contour hexagonaux, résistant à l'action des alcalis, il est facile de les déceler. Il en est de même à l'aide de la lumière polarisée, comme on l'a vu plus haut.

Les chimistes recherchent la féverolle à l'aide du dosage du gluten, par différence, ou directement par la constatation de la présence de la légumine. (Procédés Donny, Martens, Lassaigne.)

6° *Rechercher la farine de riz, de maïs, d'avoine, de seigle, de sarrazin*. La matière amylacée du riz étant composée de grains composés, ovoïdes de 0m,018 à 0m,036 de diamètre, formés de deux à cent granules et de granules irréguliers couverts de surfaces gauches [1] de 0m,003 à 0m,007, est facile à reconnaître.

---

[1] Wiesner. *Die Rohstoffe*....., 1873, p. 257.

Digitized by Google

Ces granules ne montrent aucune strie, à moins de les traiter au préalable par l'acide chromique. Le maïs donne une fécule assez fine pour qu'on ait pu imiter avec elle l'arrowroot. Mais il est facile de la reconnaître au microscope à l'aide de ses grains de forme polyédrique, simples, accompagnés quelquefois de grains sphériques provenant de la partie farineuse du fruit.

Traité par l'acide chromique, le grain laisse apparaître à sa surface deux ou trois stries indiquant des couches concentriques, tandis que sa substance intérieure se marque de stries radiales (1).

La fécule d'avoine (pl. I, fig. 15) est formée de grains composés ovoïdes, faciles à reconnaître. Les grains simples qui en résultent sont de très-petite taille et assez irréguliers.

Le grain d'amidon du seigle, de l'orge est assez semblable à celui des différentes espèces de blé, au point de vue de la forme, et, selon Wiesner, il est difficile de les distinguer autrement qu'à l'aide de la mensuration du grand diamètre. Dans le seigle, celui-ci est de 0m,014 à 0m,047 pour les gros grains, de 0m,0022 à 0m,009 pour les petits. Dans l'orge, pour les gros grains, de 0m,010 à 0m,032; pour les petits de 0m,0016 à 0m,0064, tandis que dans le blé les gros grains ont 0m,011 à 0m,041, les petits de 0m,0018 à 0m,0082.

La farine de sarrazin est livrée par les fabriques anglaises en assez grande quantité pour pouvoir servir aux adultérations. Le grain de fécule de cette plante a quelque analogie avec celui du riz, mais il est un peu plus petit. Le diamètre du grain simple, généralement anguleux, varie entre 0m,0036 et 0m,0144. L'acide chromique y révèle rarement des couches concentriques, mais ordinairement une striation radiale; on y trouve souvent des grains composés de formes caractéristiques.

Quant aux granules des différentes espèces de blé, *Triticum vulgare, spelta, turgidum, durum, dicoccum, monococcum,* il en a été si souvent question dans le courant de cette étude, que nous achèverons de les caractériser ainsi : 1° Il en existe deux variétés : une grande, lenticulaire; une petite, globuleuse ; 2° ces granules présentent souvent à leur surface un réseau à mailles fines qui, aux yeux de certains observateurs, caractérise parfaitement le grain de blé.

7° *La farine peut contenir de l'ivraie, de l'ergot.* — On sait que

(1) Wiesner. *Die Rohstoffe...*, 1873, p. 269.



Digitized by Google

l'ivraie (*Lolium temulentum*) renferme beaucoup de corps gras et peu de gluten.

La présence de l'ergot peut amener des accidents gangréneux et paralytiques, il est utile de pouvoir le reconnaître. Une farine pure, traitée par la potasse au quart, se dissout simplement.

L'ergot communique à la masse une couleur foncée, et par addition d'ammoniaque, il se produit une coloration rose caractéristique, avec développement d'une odeur urineuse très-marquée.

8° Les farines de nos pays peuvent encore contenir des fécules de graines de graminées (*Molinia cœrulea*), de légumineuses, jarosse (*Lathyrus cicera*), de gesse cultivée (*Lathyrus sativus*), d'orobe (*Orobus vernus*), lentille (*Ervum lens*), de scrofularinées (*Melampyrum arvense*), de caryophyllées (*Agrostemma githago*), nielle, etc., etc.

*Arrowroot* (fig. 13, pl. I). On donne ce nom à quelques fécules de luxe provenant de différentes espèces de racines tuberculeuses de plantes tropicales et intertropicales, qui donnent une matière amylacée inodore et fort propre aux usages médicinaux.

Dans les Indes orientales, dans l'Amérique du Sud, aux Bermudes, ce sont surtout les *Maranta* qui le produisent, et c'est tantôt le *M. arundinacea*, tantôt le *M. indica Russ*, que l'on cultive dans ce but.

En Australie (province de Queensland) [1], « la production a « excédé pendant plusieurs années la demande locale, et le sur- « plus a été exporté dans les colonies du Sud (Nouvelle Galles du « Sud, Victoria). Il existe 30 fabriques, dont 27 sont dans le « district de Logan. En 1876, la production a été de 133,140 « kilogrammes, dont 73,670 furent exportés, d'une valeur estimée « à 831,750 francs. Ces chiffres ne présentent pas le produit « total de l'étendue cultivée, parce qu'en beaucoup de circons- « tances on l'utilise pour nourrir les pourceaux. On peut en « acheter de première qualité, en quantité, de deux à trois pence « la livre, 20 à 30 centimes. »

Les grains de fécule des *Maranta* (pl. I, fig. 13) sont ordinairement simples, ovoïdes, ou manifestent une tendance vers la forme triangulaire. Leur striation est rarement visible ; leur hile

---

[1] Queensland (Australie), *Exposition de Paris*, p. 79.

Digitized by Google

est souvent au milieu du diamètre du grain, quelquefois un peu excentrique, $\frac{1}{6}$, et ordinairement marqué d'une fissure transversale.

D'autres espèces de Maranta (*Maranta nobilis*) fournissent encore l'arrowroot dit des *Indes orientales*.

Cette dernière plante fournit une fécule à grains composés et simples, différente, au point de vue microscopique, de celle des autres Maranta déjà indiqués. Les grains sont ovoïdes et elliptiques, mais fréquemment aplatis. La croix noire de la polarisation se voit facilement, même à de faibles grossissements, dans tous les granules d'arrowroot, quelle que soit leur provenance (1).

L'arrowroot des *Indes orientales*, appelé aussi tik ou farine de tikor, est fourni par deux Zingibéracées (*Curcuma angustifolia* Roxb., *C. leucorhiza* Roxb.). Les grains de fécule dans ces plantes sont grands, mais plats, à contours elliptiques. Leur striation, d'une parfaite netteté, permet de les reconnaître facilement. Ils sont d'ailleurs visibles à l'œil nu.

Le nom d'arrowroot paraît devoir devenir un pavillon sous lequel passent des fécules de provenances diverses. La fécule du *Canna edulis* Ker. est un arrowroot, dans l'exposition de la province australienne du Queensland (2).

Il en est de même des fécules produites par l'*Alstrœmeria edulis* Amaryll. et le *Tacca pinnatifida* Forst. (Diolorées).

Il est facile, du reste, de distinguer l'arrowroot du commerce de la fécule de pomme de terre et de l'amidon du blé, en le mettant en contact avec la vapeur d'iode, à la température ordinaire, sous une cloche.

La fécule *devient violette*, l'amidon *gris tourterelle*, l'arrowroot *café au lait*, le mélange d'arrowroot et d'amidon, *lilas gris*.

L'arrowroot, mis en pâte avec l'acide chlorhydrique, donne un mélange opaque, la fécule reste transparente.

A 0°, l'arrowroot, traité par l'ammoniaque, reste fluide, la fécule, au contraire, prend une consistance très-épaisse.

*Tapioca*. Provient du Jatropha Manihot (*Manihot utilissima* Pohl). — Il existe plusieurs variétés de cette plante, dont les racines sont très-développées et à peu près sphériques. L'une est

---

(1) Wiesner. *L. cit.*, p. 270.
(2) *Id.*, p. 79.

Digitized by Google

féculente et sans danger, l'autre, qui sert à fabriquer le tapioca, est aussi gorgée de fécule, mais contient des quantités notables d'acide cyanhydrique, dont on la débarrasse par une légère torréfaction. On obtient avec la fécule de cette racine divers produits qui ne diffèrent entre eux que par leur mode de préparation.

On se contente souvent d'enlever l'épiderme qui est très-épais, de râper, d'exprimer la pulpe de la racine, puis de la soumettre, sur des plaques, à une légère torréfaction. On obtient alors la *Carraque.*

La *Cassave* résulte d'une préparation analogue à la précédente, mais se présente en gâteaux.

Souvent on renferme la pulpe dans des sacs, et on en extrait la fécule par lavages. Ce produit est connu sous le nom de *Cypipa*. C'est cette fécule qui, soumise à une légère torréfaction, se prend en petites masses irrégulières, opaques, et porte dans le commerce le nom de *Tapioca d'Amérique.*

On trouve aujourd'hui, sous le nom de *Tapioca du Brésil,* une fécule transparente de bonne qualité.

Le grain du tapioca est souvent composé ou formé de grains de cassure plane sur une de leurs faces; leur hile est cruciforme ou étoilé, demi-transparent, et se distingue nettement par là de la fécule de pomme de terre qu'on lui a souvent substituée.

Il contient dans son ensemble :

Fécule, acide cyanhydrique, sucre, matière grasse azotée, sels, ligneux.

*Sagou* (fig. 14, pl. 13). Cette fécule provient d'un grand nombre d'espèces de palmiers, parmi lesquels on peut citer : *Sagus Rumphii* Wild., *S. lævis* Jack, *S. farinifera* Gaertn., *S. Ruffia* Jacq., *S. genuina* Labill.

Certains Cycadées fournissent également un sagou estimé : *Cycas revoluta* (Japon), *C. inermis* (Cochinchine), *C. circinalis* (Inde, Nouvelle-Hollande, Ile-de-France), *Zamia integrifolia* (Antilles).

A ces Cycadées, il convient d'ajouter le *Cycas caledonica* de la Nouvelle-Calédonie, qui donne une fécule de belle qualité, que nous avons vue dans la galerie de l'Exposition universelle.

La fécule de sagou provient de la moelle de ces différents arbres ou plutôt *stipes*. On extrait la moelle, on la place dans un linge, on la bat dans l'eau, et la fécule se rassemble au fond du

Digitized by Google

liquide. On en fait des gâteaux qui sont granulés, et le produit ainsi obtenu subit une légère torréfaction, d'après certains auteurs.

Le sagou est blanc, mais on en connaît une variété légèrement rosée.

Le grain du *Sagus Rumphii* doit être elliptique, un peu tronqué, mesurer dans son grand diamètre environ 0m,065, présenter un hile creusé autour duquel s'ordonnent des stries concentriques.

On y rencontre souvent des grains composés de deux ou plusieurs autres.

Les fécules des *Borassus flabelliformis* et *Arenga saccharifera* (palmiers) ont souvent été prises pour du sagou, mais les grains de la matière amylacée du *Borassus* sont jaunâtres, parfois groupés par trois, ceux de l'*Arenga* ont un diamètre moyen plus grand que ceux du *S. Rumphii* et présentent une couleur jaunâtre.

Parmi les produits qui ont été souvent rattachés aux matières amylacées, se trouve le *Salep,* constitué par les pseudobulbes d'orchidées exotiques ou indigènes (*O. mascula, O. latifolia*).

Si nous ne lui accordons ici qu'une importance secondaire, c'est que, en réalité, le salep doit plutôt ses propriétés à un mucilage soluble dans l'eau froide, formant une solution que l'iode colore en bleu, comparable à certaines gommes plutôt qu'à l'amidon.

Cependant, celui-ci se trouve dans le salep frais, mais en faible proportion, et souvent, dans les bulbes desséchées, il devient difficile d'en constater l'existence.

Certaines plantes, que nous n'avons pas nommées dans le courant de ce travail, donnent des matières féculentes en assez grande abondance.

Ce sont :

*Papilionacées : Castanospermum edule* Cunn., *Dolichos bulbosus* L. (Inde).

*Anacardiacées : Mangifera indica* L. (Martinique et Réunion).

*Sterculiaciées : Pachyra aquatica* Aubl. (Expos. de la Guyane).

*Cucurbitacées : Sicyos angulata* L., *Sycios edulis, Bryonia epigea* Rottl., *Cucurbita sp. inc.* (Expos. Guyane).

*Hippocastanées : Æsculus Hippocastanum* L., rendu applicable aux besoins de l'industrie (Bull. Soc. d'encouragement, Mulhouse, 1862).

*Acanthacées : Ruellia pavale* Roxb. (Inde française).

Digitized by Google

*Convolvulacées : Batatas edulis* Chois. (Régions intertropicales).

*Artocarpées : Artocarpus incisa* L. Arbre à pain (Régions intertropicales).

*Cupilifères : Quercus sessiliflora* Sm. et *Q. pedunculata.* Farine de glands.

*Saururées* : *Aponogeton distachyum* Ait., *A. monostachyum* L. (Guyane).

*Palmiers : Caryota urens* L. Mysore (Indes).

*Aroïdées : Arum maculatum* L., *A. esculentum* L., *Colocasia esculenta* Schott (taro), *Dracontum polyphyllum* (Océanie).

*Musacées : Musa paradisiaca* L. (régions intertropicales).

*Dioscorées : Dioscorea alata* L., *D. sativa* L. Ignames (régions intertropicales).

*Liliacées : Gloriosa superba* L. (Inde française).

*Amaryllidées : Pancratium maritimum* L. (régions méditerranéennes).

Nancy — Imprimerie Berger-Levrault et Cie.

Digitized by Google

## EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

Fig. 1. — Cellule de jeune embryon de *Lathyrus latifolius* (pl. 1, fig. 7 du mémoire de M. Trécul) : *a*) enveloppe cellulaire ; *b*) protoplasma ; *c*) nucléus (1).

Fig. 2. — Cellule de jeune albumen d'*Emex spinosus* (id., pl. 1, fig. 10), type du développement du protoplasma en filaments et du développement de grains d'amidon, *d*) dans le noyau.

Fig. 3. — Cellule de l'albumen du *Melica altissima* (id., pl. 7, fig. 1) ; protoplasma rempli de granules colorés en jaune par l'iode, et préludant à la formation de grains d'amidon.

Fig. 4. — Cellule du même, remplie de granules se colorant en bleu par l'iode (id., pl. 7, fig. 3).

Fig. 5. — Formation du grain d'amidon du *Phytolacca esculenta* par le protoplasma pariétal mince, se renflant sous forme de protubérances (id., pl. 7, fig. 28).

Fig. 6. — Id., les protubérances détachées sous forme de grains d'amidon agrégés ou multiples (id., pl. 7, fig. 29).

Fig. 7. — Cellule d'un jeune rameau de *Viscum album*, produisant des granules d'amidon à la surface du nucléus (id., pl. 6, fig. 16).

Fig. 8. — Production de l'amidon aux dépens de la chlorophylle. Six exemples, sériés par trois, de bipartition du grain d'amidon. (Mousses.) Naegeli, *die Stærkekærner* (pl. 20, fig. 19, 20, 36).

Fig. 9. — Les grains d'amidon dans les algues inférieures conjuguées (*Cosmarum Botrytis*). (Sachs, d'après M. de Barry, p. 297, fig. 10.)

Fig. 10. — L'amidon du blé dans la cellule du parenchyme du fruit. (Dict. de bot. de M. le prof. Baillon. *Amidon*, p. 146.)

Fig. 11. — Le grain de fécule de pomme de terre grossi 1,000 fois ; *e*) le hile ; *f*) les stries concentriques alternativement claires et obscures. (Naegeli, *id.*, pl. 11, fig. 2.)

Fig. 12. — Grain d'amidon du latex de l'*Euphorbia splendens*. (*Das Microscop*, Dippel, p. 22, pl. 9.)

Fig. 13. — Grain d'arrowroot (*Mar. arundinacea*). (P. 423, t. II, *Hist. des drogues simples*, de Flückiger et Hamburg, traduite par M. de Lanessan.)

Fig. 14. — Grain de sagou. (Dict. de bot. de M. le prof. Baillon. *Amidon*, p. 147.)

Fig. 15. — Grain composé d'amidon d'avoine. (Cauvet, *Nouv. élém. d'histoire nat. médic.*, t. II, fig. 425.)

Fig. 16. — Résorption égale, couches par couches, du grain d'amidon du blé. (Mém. cité de M. Trécul, pl. 12, fig. 55.)

Fig. 17. — Résorption inégale du grain d'amidon du *Secale montanum*. (Id., pl. 6, fig. 63.)

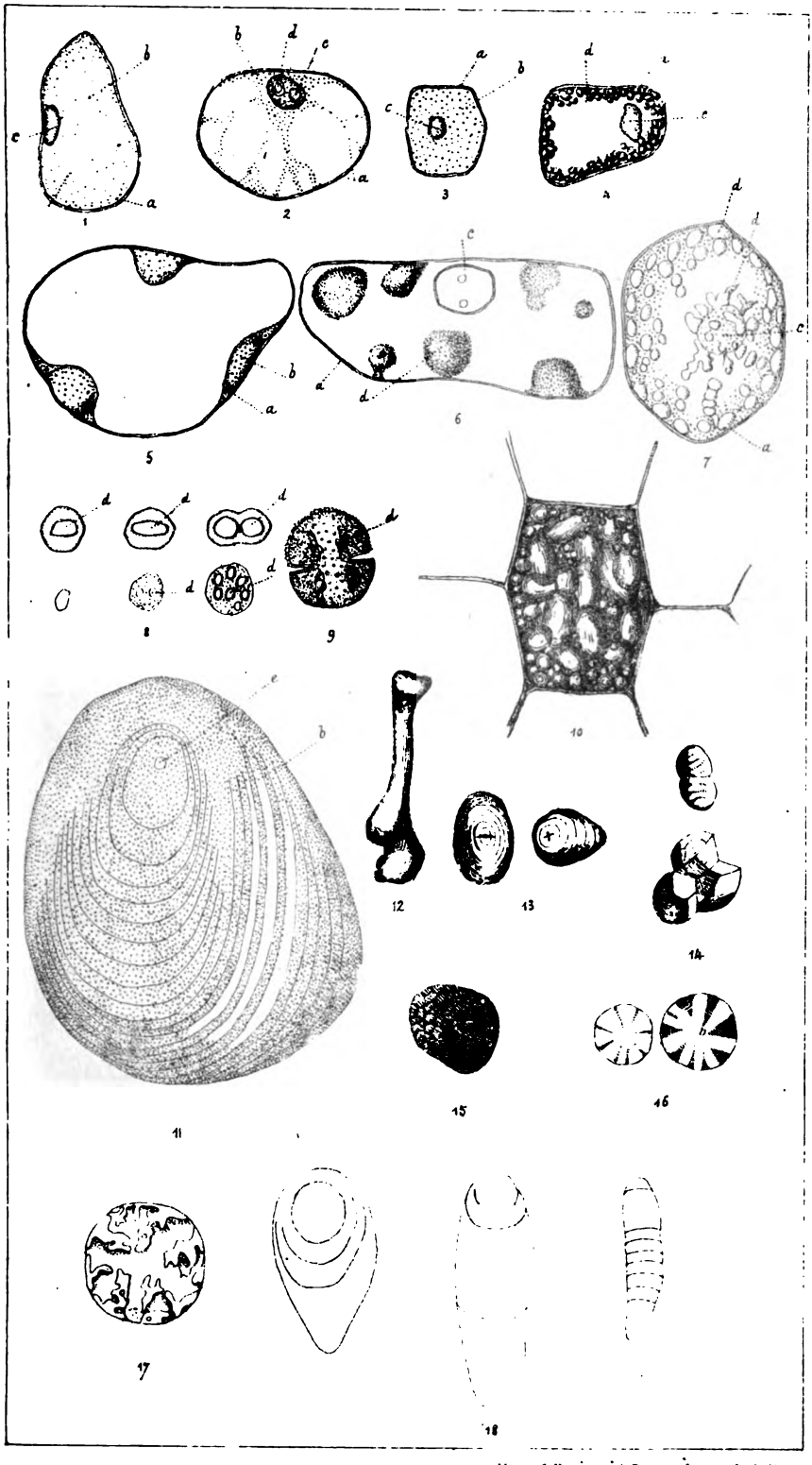
Fig. 18. — Différents stades de la résorption du grain de fécule de pomme de terre, d'après Naegeli. (Pl. 12, fig. 1. *Die Stærkekærner*).

---

(1) Toutes les figures de cellules ont sur cette planche la même notation. Il faut y ajouter *d*) qui sert partout à désigner le grain d'amidon.

Digitized by Google

Digitized by Google




Nancy & Paris. Lith. Berger-Levrault & Cie

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

## BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

**Annales de la Station agronomique de l'Est.** Chimie et physiologie appliquées à la sylviculture. (Travaux de 1868 à 1878), par L. Grandeau, directeur de la Station agronomique, professeur à la Faculté des sciences de Nancy et à l'École forestière ; 1 vol. gr. in-8°, broché . . . . . 9 fr.

**Traité d'analyse des matières agricoles.** Sols, eaux, amendements, engrais. Principes immédiats des végétaux. Fourrages, boissons, fumier, laine. Produits de la laiterie, par L. Grandeau ; 1 vol. in-12, avec 46 figures dans le texte et 51 tableaux pour le calcul des analyses, broché . . . . . 9 fr.

**Les Engrais industriels** et le contrôle des stations agronomiques (*Extrait des Annales de la Société d'agriculture de Meurthe-et-Moselle*), par L. Grandeau ; in-8°, broché . . . . . 1 fr. 50 c.

**Faits et observations sur la brasserie,** suivis de la Description d'un nouveau procédé de fabrication, par N. Galland, directeur-gérant de la Brasserie viennoise de Maxéville ; in-8° avec planches, broché . . . . . 10 fr.

— Suite : *Maltage pneumatique ;* in-8° avec planches, broché . . . . . 2 fr.

**Des Vins colorés par la fuchsine** et des moyens employés pour les reconnaître, 3e édition, revue et augmentée, par E. Ritter, professeur-adjoint de chimie médicale à la Faculté de médecine de Nancy ; gr. in-8° avec une pl., br. 2 fr. 50 c.

**Étude expérimentale de l'action de la fuchsine sur l'organisme,** par V. Feltz et E. Ritter, professeurs à la Faculté de médecine de Nancy ; grand in-8° avec planche, broché . . . . . 2 fr. 50 c.

**Les Vins fuchsinés et la justice,** par V. Émion ; gr. in 8°, broché. 1 fr. 50 c.

**Contributions à l'étude des glycocolles** et de leurs dérivés, par R. Engel, docteur en médecine et ès sciences ; grand in-8°, broché . . . . . 2 fr. 50 c.

**Flore forestière. Description et histoire des végétaux ligneux** qui croissent spontanément en France, et des essences importantes de l'Algérie, par Mathieu, conservateur des forêts, professeur d'histoire naturelle à l'École forestière, sous-directeur de cette École ; 3e édition entièrement revue et considérablement augmentée ; 1 fort vol. in-8°, broché . . . . . 12 fr.

**Manuel de botanique forestière.** Botanique anatomique et physiologique. — Géographie botanique. — Botanique descriptive : principales espèces forestières de France, par H. Fliche, professeur à l'École forestière de Nancy ; in-12, broché . . . . . 3 fr. 50 c.

**Notice sur l'eucalyptus globulus.** (*Extrait de la Revue maritime*), par Leingre ; in-8°, broché . . . . . 1 fr. 50 c.

**Bulletin de la Société des sciences de Nancy.** (Ancienne Société des sciences naturelles de Strasbourg fondée en 1828). Chaque année, depuis 1876, 1 vol. ou 2 fasc., gr. in-8°, avec gravures . . . . . 5 fr.


Nancy. — Impr. Berger-Levrault et Cie.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google